

## תרומת המעבדה הדיגיטלית ללמידה במקצוע הפניאומטיקה (מאמר קצר)

תמי זייפרט

מכללת סמינר הקיבוצים  
[tami.seifert@smkb.ac.il](mailto:tami.seifert@smkb.ac.il)

דביר מרגוליס

מכללת סמינר הקיבוצים  
[Dvirmar388@gmail.com](mailto:Dvirmar388@gmail.com)

### The Impact of Digital Laboratory Implementation on Pneumatics Education (Short Paper)

Dvir Marguliz

Kibbutzim College of Education  
[Dvirmar388@gmail.com](mailto:Dvirmar388@gmail.com)

Tami Seifert

Kibbutzim College of Education  
[tami.seifert@smkb.ac.il](mailto:tami.seifert@smkb.ac.il)

#### Abstract

In an era where technology is an integral part of the learning environment, this study examined the impact of using a digital pneumatics laboratory on three key aspects: academic achievement, problem-solving skills (PBL – Problem Based Learning), and student motivation levels. The research was based on the constructivist paradigm and focused on challenges including cognitive load, complexity in understanding abstract concepts, and infrastructural limitations in traditional science laboratories.

The study was conducted in two high schools, involving 87 eleventh-grade students majoring in mechanics, combining quantitative and qualitative methodologies. Participants were divided into two groups: an experimental group exposed to the digital laboratory and a control group that studied using traditional methods. Data was collected through knowledge exercises, learning experience questionnaires, personality component questionnaires, structured observations, and semi-structured in-depth interviews.

Initial findings indicate advantages for the experimental group across all measures: higher motivation levels, improved academic achievements, and development of advanced problem-solving skills. The results emphasize the potential of the digital pneumatics laboratory in promoting meaningful learning, developing critical thinking, making complex content accessible, and reducing gaps between educational institutions with differential resources. The relatively low cost of digital simulations, compared to traditional physical laboratories, offers the possibility of equitable access to quality laboratory experience. The research demonstrates how integrating advanced technologies in science education promotes autonomous learning and deepens understanding of the studied material.

**Keywords:** Digital Pneumatics Lab, Problem Based Learning (PBL), Motivation, Academic Achievement.

#### תקציר

בעידן בו הטכנולוגיה מהווה חלק אינטגרלי ממרחב הלמידה, מחקר זה בחן את השפעת השימוש במעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית על שלושה היבטים מרכזיים: הישגים לימודיים, כישורי פתרון בעיות (PBL – Problem Based Learning) ורמת המוטיבציה בקרב תלמידים. המחקר מתבסס על הפרדיגמה הקונסטרוקטיביסטית ומתמקד באתגרים הכוללים עומס קוגניטיבי, מורכבות בתפיסת מושגים מופשטים, ומגבלות תשתיות במעבדות המסורתיות במקצועות

המדעים. המחקר התבצע בשני בתי ספר תיכוניים במרכז הארץ, בקרב 80 תלמידי כיתות י"א במגמת מכונות, תוך שילוב מתודולוגיות כמותניות ואיכותניות. המשתתפים חולקו לשתי קבוצות: קבוצת ניסוי שנחשפה למעבדה הדיגיטלית, וקבוצת ביקורת שלמדה בשיטה המסורתית. הנתונים נאספו באמצעות תרגילי ידע, שאלוני חוויית למידה, שאלוני מרכיבי אישיות, תצפיות מובנות וראיונות עומק חצי-מובנים. הממצאים הראשוניים מצביעים על יתרון לקבוצת הניסוי בכל המדדים: רמות מוטיבציה גבוהות יותר, שיפור בהישגים הלימודיים, ופיתוח מיומנויות מתקדמות בפתרון בעיות. ממצאי המחקר מדגישים את הפוטנציאל של מעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית בקידום למידה משמעותית ופיתוח חשיבה ביקורתית. המעבדה מסייעת בהנגשת תכנים מורכבים ומאפשרת צמצום פערים בין מוסדות חינוך בעלי משאבים שונים. זאת בזכות העלות הנמוכה יחסית של הסימולציות הדיגיטליות, בהשוואה למעבדות פיזיות מסורתיות, המאפשרות הנגשה שוויונית של התנסות מעבדתית איכותית. המחקר מראה כיצד שילוב טכנולוגיות מתקדמות בהוראת מדעים מקדם למידה אוטונומית ומעמיק את הבנת החומר הנלמד.

**מילות מפתח:** מעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית, למידה מבוססת בעיות (PBL), מוטיבציה, הישגים.

## מבוא

עם המהפכה הטכנולוגית בחיינו, השימוש בטכנולוגיה הפך חלק אינטגרלי ממרחב הלמידה כיום. מחקר זה עוסק במעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית (ענף של מקצוע הפיזיקה) המצוידת באמצעים טכנולוגיים מתקדמים והעונה לצרכי הלומד של המאה ה-21. מקצוע הפיזיקה הוא מורכב ומאתגר. מני-איקן ואחרים (2017) מדגישים זאת במחקרם העוסק בתמונת מצב של מקצוע הפיזיקה במערכת החינוך בישראל. הסיבות העיקריות לנשירה ממקצוע הפיזיקה הן עומס לימודי במקצוע, קושי בהבנת החומר הנלמד וציונים נמוכים. בנוסף קיימים אתגרים הקשורים למשאבים פיזיים כמו חוסר במעבדות וציוד. מכאן עולה חשיבותם של הניסויים במעבדה המסייעים להתמודד עם רמת המופשטות של המקצוע ומאפשרים יישום מוחשי של התכנים התיאורטיים. הנגשת הסביבה הדיגיטלית, למשל בסימולציות, מקדמת את תהליך הלמידה. זוהי למידה בדרך של הבניית ידע, הנותנת דגש וחשיבות לפעולות החקר של הלומד (Stoekel, 2020). הלומד מעורר שאלות, מאתר מקורות מידע ומעבד אותם ויוצר ידע חדש הרלוונטי לעולמו האישי ולחיים בעידן הטכנולוגי במאה ה-21. הטכנולוגיה במעבדה הדיגיטלית היא חדשנית ומשולבת בדרכי ההוראה ובאופן חשיפת חומר הלימודים בפני הלומד (Darrah et al., 2014). מכיוון שהיא מאפשרת למידה מבוססת חקר בה הלומד יכול ליישם ולנתח את הניסויים שביצע, וללמוד מהם תוך שימוש בכלים דיגיטליים – הוא יכול לפתח חשיבה ביקורתית וחדשנית (Lynch & Ghergulescu, 2017). כל זאת תוך חוויית לימודים קונסטרוקטיביסטית בפתרון בעיות בפיזיקה, המביאה ללמידה אפקטיבית (יחיאלי, 2008; 2015; Savery). מעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית, בהיותה וירטואלית ומבוססת סימולציות, מדגימה יישום מעשי של עקרונות אלו. בנוסף, מעבדה זו מנגישה את עולם הפיזיקה ללומד תוך הוזלה משמעותית של הניסויים באמצעותם מתבצעת הקניית הידע - דבר המאפשר הקמת מעבדות דיגיטליות כמעט בכל בית ספר.

מחקר זה בוחן את התרומה של שילוב כלים דיגיטליים מתקדמים בעבודת הלומד במעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית להישגים, מוטיבציה וחיזוק כישורי (PBL) (Problem Based Learning) של לומד עצמאי חוקר במקצוע הפניאומטיקה. כמו כן בוחן המחקר את הקשר בין מאפייני אישיות ואוריינות טכנולוגית להישגים במקצוע פנאומטיקה. זהו מחקר פעולה המתמקד באופן בו שילוב הכלי הטכנולוגי (סימולציות מעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית) מנצל את המרחב האינטרנטי ותורם להנעה ללמידה משמעותית בעבודת מעבדה במקצוע הפניאומטיקה. בנוסף, בוחן מחקר פעולה זה כיצד מעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית מעצימה למידת חקר מבוססת פתרון בעיות בשיטת PBL. וזאת מתוך הנחה שמעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית תביא לסיוע בהבנת מושגים מופשטים ומורכבים כגון אלה בהם עוסקת הפניאומטיקה, וללמידה אינטראקטיבית חווייתית שבסופה שיפור הישגים.

## מתודולוגיה

מחקר פעולה זה משלב גישה כמותנית ואיכותנית לבחינת השפעת השימוש במעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית על הישגי התלמידים, הערכת התפתחות כישורי פתרון בעיות (PBL), בדיקת השינויים ברמת המוטיבציה ללמידה, וזיהוי הקשרים בין מאפייני אישיות ואוריינות טכנולוגית לבין הישגי הלומדים. הנתונים הכמותניים

נותחו באמצעות מבחני t למדגמים תלויים ובלתי תלויים, ניתוח שונות עם מדידות חוזרות (RM-ANOVA), וניתוח גורמים. הנתונים האיכותניים עברו ניתוח תוכן תמטי שיטתי. שילוב הגישות מאפשר טריאנגולציה של הנתונים, המחזקת את תוקף הממצאים ומספקת תמונה מקיפה של השפעת ההתערבות החינוכית על תהליכי הלמידה.

## אוכלוסייה וסביבת המחקר

מחקר הפעולה הנוכחי התבצע בשני בתי ספר תיכוניים במרכז הארץ. אוכלוסיית המחקר כללה 87 תלמידי כיתות י"א במגמת מכונות (N=87), המהווים מדגם מכוון של תלמידי המגמה הטכנולוגית במערכת החינוך הממלכתית.

הקצאת המשתתפים לקבוצות המחקר התבצעה באמצעות דגימת אשכולות טבעיים, תוך שמירה על ההרכב המגדרי והדמוגרפי הקיים. קבוצת הניסוי כללה 42 תלמידים (N=42), מתוכם 30 בנים ו-12 בנות, בעוד קבוצת הביקורת כללה 43 תלמידים (N=43), מתוכם 28 בנים ו-15 בנות. ההתפלגות המגדרית בשתי הקבוצות משקפת את המאפיינים הדמוגרפיים האופייניים למגמות טכנולוגיות במערכת החינוך.

בחירת המשתתפים מאותה שכבת גיל ומגמת לימוד מאפשרת בקרה על משתנים מתערבים פוטנציאליים הקשורים לגיל ולתחום העניין. החוקר, המשמש כמורה בשני בתי הספר, הקפיד על יצירת תנאי מחקר אחידים בשתי הקבוצות, תוך מודעות לסוגיות האתיות והמתודולוגיות הכרוכות במחקר פעולה בו החוקר הוא חלק אינטגרלי מהשדה הנחקר.

## כלי המחקר

### המטלות

במסגרת המחקר פותחו שתי מטלות ביצוע מקבילות בתחום הפניאומטיקה, הבודקות ידע ומיומנויות ברמות חשיבה שונות בהתאם לטקסונומיה של בלום. הערכת המטלות התבצעה באמצעות מחוון מפורט שפותח למטרת המחקר, המגדיר קריטריונים ברורים להערכת רמת הביצוע בסולם של 0-100 נקודות.

**שאלונים** מדורגים בסולם ליקרט 5 דרגות (1="לא מסכים בכלל" עד 5="מסכים מאוד").

### שאלון מוטיבציה, אסטרטגיות למידה ואוריינות טכנולוגית דיגיטלית

שאלון מוטיבציה, אסטרטגיות למידה ואוריינות טכנולוגית דיגיטלית – השאלון מתבסס על כלים מתוקפים של פינטריץ' (Pintrich et al., 1991) ושל טזאפילקו (Tzafilkou et al., 2022) והותאם למחקר הנוכחי.

**שאלון מרכיבי אישיות** – המבוסס על כלי מתוקף (Mottola et al., 2023), הבוחן מרכיבי אישיות על פי "מודל חמשת הגדולים". השאלון מתמקד בשני מרכיבים: חקרנות ויצירתיות.

### תצפיות

במסגרת המחקר נערכו תצפיות שיטתיות לבחינת ההבדלים בין קבוצת הניסוי, שנחשפה למעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית, לבין קבוצת הביקורת, שלמדה באמצעות המעבדה המסורתית. התצפיות התבצעו במתכונת דו-שלבית הכוללת תצפית ראשונית לא מובנית ותצפית מכוונת מובנית (בן-דוד, 2011). החוקר ביצע תצפית לא משתתפת, תוך תיעוד שיטתי של האינטראקציות בכיתה, בהתאם לאסטרטגיית מחקר פעולה המשלבת דוח עצמי (self-case report). הנתונים נותחו באמצעות "ניתוח מסדר ראשון" (שקדי, 2003), תוך שימוש בתהליך רפלקטיבי לזיהוי דפוסים בהישגים, מוטיבציה וכישורי PBL.

### ראיונות עומק

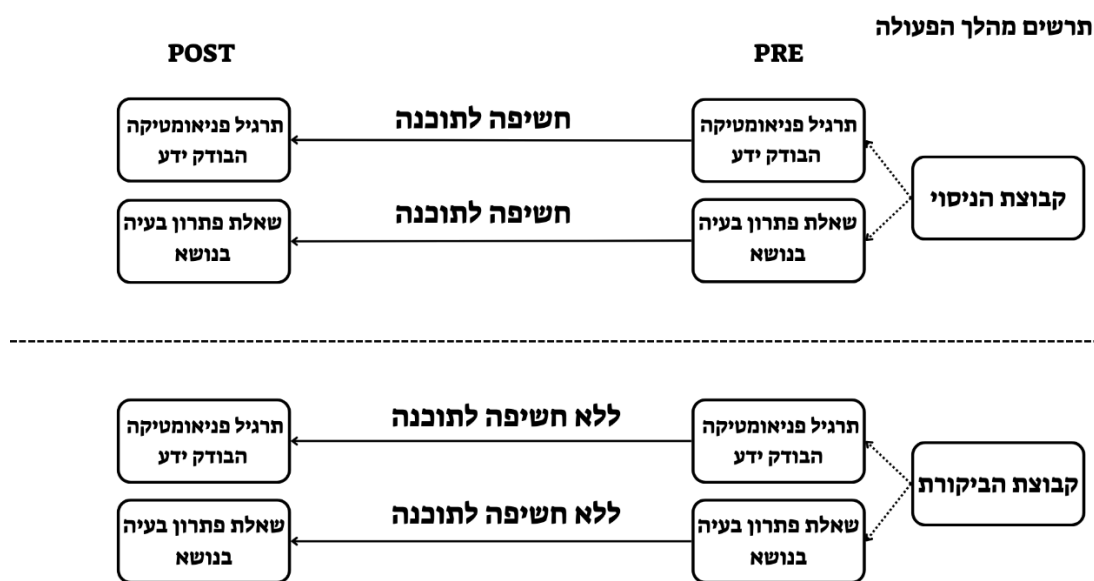
נערכו ראיונות עומק חצי-מובנים עם מדגם מייצג מקבוצת הניסוי. פרוטוקול הראיון כלל 20 שאלות המתייחסות לארבע קטגוריות: שאלות רקע כלליות, שאלות הקשורות להישגים לימודיים, שאלות הבוחנות כישורי PBL ושאלות הנוגעות למוטיבציה ומאפייני אישיות. הראיונות הוקלטו, תומללו ונותחו באמצעות ניתוח תוכן תמטי.

## הליך המחקר

המחקר התבצע במהלך מחצית אי של שנת הלימודים תשפ"ה. טרם תחילת המחקר, התקבלו האישורים האתיים הנדרשים ממשרד החינוך והנהלות בתי הספר, והוחתמו הורי התלמידים על טפסי הסכמה מדעת. בשלב הראשון של המחקר, התלמידים חולקו לקבוצות מחקר תוך שמירה על איזון דמוגרפי והישגי. קבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת קיבלו מטלת פרה-טסט זהה, אשר דורגה מבחינת רמת הקושי, בתחום הפניאומטיקה. המטלה ניתנה לאחר הקניית החומר בכיתה והייתה מורכבת משני חלקים: חלק א' בחן את הידע הבסיסי בפניאומטיקה, בעוד חלק ב' התמקד בפתרון בעיות בשיטת PBL, בהתאם לכללי הטקסונומיה של בלום.

במהלך השיעורים (10 מפגשים), בוצעו תצפיות מובנות על ידי החוקר, אשר תיעד הערות רלוונטיות לגבי מהלך השיעורים, תוך התמקדות בהבדלים בין שתי הקבוצות – קבוצת הניסוי שנחשפה למעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית, וקבוצת הביקורת שלמדה בעזרת המעבדה המסורתית. להבטחת מהימנות התצפיות, נעשה שימוש בפרוטוקול תצפית מובנה ותיעוד שיטתי של האינטראקציות בכיתה. לאחר השלמת המטלות, התלמידים מכל קבוצה מילאו את שני השאלונים.

בנוסף, התקיימו ראיונות עומק חצי-מובנים עם 8 תלמידים שנבחרו מקבוצת הניסוי על פי קריטריונים מוגדרים מראש (רמות הישג, מוטיבציה ואוריינות טכנולוגית שונות), במטרה להעמיק את ההבנה של חוויותיהם ותפיסותיהם בנוגע לשימוש במעבדה הדיגיטלית. בשלב השני של המחקר (אמצע ינואר 2025), התלמידים קיבלו מטלת פוסט-טסט, אשר הייתה זהה במרכיביה ובדרגת הקושי לתרגיל הראשון. בשלב זה, תלמידי קבוצת הניסוי ביצעו את המטלה לאחר שנחשפו למעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית, בעוד שתלמידי קבוצת הביקורת ביצעו את המטלה ללא חשיפה למעבדה הדיגיטלית.



איור 1. תרשים מהלך הפעולה.

## ממצאים ראשוניים

ניתוח הנתונים הראשוניים מצביע על מגמות משמעותיות בשלושת המדדים המרכזיים שנבחנו במחקר: מוטיבציה, הישגים לימודיים וכישורי פתרון בעיות. להלן יוצגו הממצאים העיקריים בכל אחד מהתחומים:

### מוטיבציה ללמידה:

הממצאים הראשוניים מעידים על הבדלים ניכרים ברמת המוטיבציה בין קבוצת הניסוי לקבוצת הביקורת. תלמידי קבוצת הניסוי, אשר למדו באמצעות מעבדת הפניאומטיקה הדיגיטלית, הפגינו רמות מוטיבציה גבוהות יותר, כפי שבא לידי ביטוי בשאלוני חוויית הלמידה ובראיונות העומק. נתונים אלו נתמכו גם בתצפיות החוקר, אשר תיעדו מעורבות פעילה יותר בתהליך הלמידה בקרב תלמידי קבוצת הניסוי.

### הישגים לימודיים:

בבחינת ההישגים הלימודיים בטווח הקצר, נצפתה מגמת שיפור בקרב תלמידי קבוצת הניסוי. תלמידים אלו הציגו התקדמות מהירה יותר בהבנת החומר הנלמד והשיגו תוצאות טובות יותר במטלות הביצוע, בהשוואה לעמיתיהם בקבוצת הביקורת. הפער בהישגים היה בולט במיוחד במטלות שדרשו יישום תיאורטי ובהבנה של החומר הנלמד.

### כישורי פתרון בעיות (PBL):

בהתייחס לכישורי פתרון בעיות בשיטת PBL, הנתונים הראשוניים מצביעים על יתרון לתלמידי קבוצת הניסוי. תלמידים אלו הפגינו: יכולת גבוהה יותר בזיהוי בעיות מורכבות, גמישות מחשבתית משופרת בהצעת פתרונות חלופיים, שימוש יעיל יותר בכלים דיגיטליים לפתרון בעיות ויכולת משופרת בהערכת יעילות הפתרונות המוצעים. חשוב להדגיש כי אלו ממצאים ראשוניים. הניתוח הסטטיסטי המקיף והממצאים המלאים של המחקר, לרבות מבחני מובהקות והשוואות מעמיקות בין הקבוצות, יוצגו בהרחבה בכנס.

### מקורות

- בן-דוד, ע'. (2011). **חושבים על תצפית מדעית**. מכון וייצמן: <https://shorturl.at/luZVj>
- יחיאלי, ת' (2008). **איך עושים למידה קונסטרוקטיביסטית**. הד החינוך.
- כספי, א' ורוקס, ס' (2016). **אישיות תיאוריה ומחקר כרך ג'**. האוניברסיטה הפתוחה.
- מני-איקון, ע' בשן, צ' (2017). **לימודי פיזיקה ברמת 5 יח"ל בישראל תמונת מצב**. קרן טראמפ. <https://shorturl.at/PNqDX>
- משרד החינוך. (2017). **אוריינות טכנולוגית ודיגיטלית**. פורטל מוסדות חינוך: [https://meyda.education.gov.il/files/katalog\\_hinuchi/oryanot\\_digitalit/oryanot\\_technologit\\_vedigitalit.pdf](https://meyda.education.gov.il/files/katalog_hinuchi/oryanot_digitalit/oryanot_technologit_vedigitalit.pdf)
- שקדי, א'. (2003). **מילים המנסות לגעת**. הוצאת רמות.
- Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M., & Hopkins, J. (2014). Are virtual labs as effective as hands-on labs for undergraduate physics? A comparative study at two major universities. *Journal of science education and technology*, 23, 803-814. <https://doi-org.ezproxy.smkb.ac.il/10.1007/s10956-014-9513-9>
- Lynch, T., & Ghergulescu, I. (2017). Review of virtual labs as the emerging technologies for teaching STEM subjects. *INTED2017 proceedings*, 6082-6091. <https://doi.org/10.21125/inted.2017.1422>
- Mottola, F., Abbamonte, L., Ariemma, L., Gnisci, A., Marcone, R., Millefiorini, A., ... & Sergi, I. (2023). Construct and criterion validity of the HEXACO Medium School Inventory Extended (MSI-E). *Plos one*, 18(10), e0292813. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0292813>
- Pintrich, P. R. (1991). A manual for the use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire (MSLQ). *National Center for Research to Improve Postsecondary Teaching and Learning*.
- Savery, J. R. (2015). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Essential readings in problem-based learning: Exploring and extending the legacy of Howard S. Barrows*, 9(2), 5-15.
- Stoeckel, M. R. (2020). Literature Review of Constructivism in Online Science Courses. *arXiv preprint arXiv:2007.07745*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2007.07745>
- Tzafilkou, K., Perifanou, M., & Economides, A. A. (2022). Development and validation of students' digital competence scale (SDiCoS). *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19(1), 30. <https://doi-org.ezproxy.smkb.ac.il/10.1186/s41239-022-00330-0>