

## בחינת חשיבה חדשנית בקורס הנדסי מבוסס פרויקטים

מירי ברק

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

[bmiriam@technion.ac.il](mailto:bmiriam@technion.ac.il)

מאיה אושר

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

[ushermaya@tx.technion.ac.il](mailto:ushermaya@tx.technion.ac.il)

### Examining Innovative Thinking in a Project-based Engineering Course

Maya Usher

Technion – Israel Institute of Technology

[ushermaya@tx.technion.ac.il](mailto:ushermaya@tx.technion.ac.il)

Miri Barak

Technion – Israel Institute of Technology

[bmiriam@technion.ac.il](mailto:bmiriam@technion.ac.il)

#### Abstract

Innovative thinking is considered as one of the important competences required for learning in the 21st century. Still, only few studies focused on designing and evaluating learning environments that may promote this prominent competency, especially in the context of engineering education. Hence, the study's goal was twofold: first, to characterize innovative thinking in the setting of a project-based learning (PBL) course; second, to compare project innovation in different learning environments. The study included 82 engineering students who took part in a Nanotechnology and Nanosensors course, delivered in two modes: face-to-face ( $N = 40$ ) and online ( $N = 42$ ). Participants were engaged in a small group PBL process, leading to the design of a nano-based device. Guided by the mixed methods approach, the study included interviews with four nanotechnology experts, applied an in-depth qualitative analysis of the projects' contents, and a quantitative analysis of the project's innovation levels. The findings identified four categories: Innovation type, Necessity, Interdisciplinarity, and Market readiness. Significant correlations were found between the projects' grades awarded by the course staff and those assigned according to the taxonomy, for both groups. However, students from the face-to-face group received higher grades on project innovation both from the teaching staff and according to the taxonomy, compared to their online counterparts.

**Keywords:** Engineering education; Higher education; Innovative thinking; Online learning; Project-based learning (PBL).

#### תקציר

חשיבה חדשנית נחשבת לאחת מן המיומנויות העיקריות הנדרשות ללמידה במאה ה-21. עם זאת, מספר מועט בלבד של מחקרים התמקדו בעיצוב והערכה של סביבות למידה העשויות לקדם מיומנות חשובה זו, ביחוד בהקשר לחינוך הנדסי. מכאן, מטרת המחקר הנוכחי הייתה כפולה: ראשית, לאפיין חשיבה חדשנית בסביבה של קורס מבוסס פרויקטים; שנית, להשוות חדשנות של פרויקטים בסביבות למידה שונות. המחקר כלל 82 סטודנטים בתחום ההנדסה אשר לקחו חלק בקורס בננוטכנולוגיה וננו-חיישנים הניתן בשני אופנים: פרונטאלי ( $N=40$ ) ומקוון ( $N=42$ ). כל משתתפי המחקר היו מעורבים בתהליך למידה מתמשך מבוסס פרויקטים בקבוצות קטנות, אשר הוביל לפיתוחו של מכשיר מבוסס ננו-חיישנים. בהסתמך על מתודת המחקר המשולב, בוצעו ראיונות עם ארבעה

מומחים בנגוטכנולוגיה, כמו גם ניתוח איכותני מעמיק של תוכן הפרויקטים וניתוח כמותי של רמת החדשנות המוצגת בהם. הראיונות הובילו לפיתוחן של ארבע קטגוריות לבחינת רמת החדשנות בפרויקטים: סוג החדשנות, מידת הנחיצות, אינטרדיסציפלינריות ומוכנות לשוק. הממצאים הראו מתאם מובהק סטטיסטית בין ציוני הפרויקטים שניתנו על ידי צוות הקורס עם אלו שהתקבלו על פי הטקסונומיה, בקרב שתי קבוצות המחקר. עם זאת, סטודנטים מקבוצת הקורס הפרונטאלי קיבלו ציונים גבוהים יותר על חדשנות בפרויקטים הקבוצתיים הן מצד צוות ההוראה של הקורס והן על פי הטקסונומיה, בהשוואה לקבוצת הקורס המקוון.

**מילות מפתח:** השכלה גבוהה, חינוך הנדסי, חשיבה חדשנית, למידה מבוססת פרויקטים, למידה מקוונת.

## מבוא

חדשנות מוזכרת חדשות לבקרים כאחת ממיומנויות המפתח המשמעותיות להצלחה בעבודה ובלמידה במאה ה-21 (Pellegrino & Hilton, 2012; Barak, Morad & Ragonis, 2013). על פי מילון מרים-ובסטר, חדשנות מוגדרת כתהליך אשר מוביל לביצוע שינויים בדבר קיים על ידי יצירה של משהו חדש ויישומי, או ביצוע שיפור משמעותי בזה הקיים. המשגות נוספות מתייחסות לחדשנות כאל דבר מה חדש עם רמה גבוהה של מקוריות בכל תחום שהוא, המאתגר את הסדר הקיים ומציע ערך מוסף עבור הצרכן הבחנה בין מושג החדשנות ליצירתיות. חדשנות כרוכה בשני שלבים: השלב היצירתי בו נוצרים רעיונות חדשים והשלב היישומי בו מתבצע יישום מוצלח של אותם רעיונות (Choi & Chang, 2009; George, 2007; O'Sullivan & Dooley, 2008). מכאן שיצירתיות הינה חלק חשוב מתהליך החדשנות, אך היא אינה תנאי מספק עבור הגשמתו המלאה (Frankelius, 2009).

קיימות בספרות מספר שיטות לסיווג היקף החדשנות, כאשר העיקרית מבחינה בין חדשנות אינקרמנטלית (הדרגתית) המשפרת את המוצר תוך כדי שימוש בידע הקיים ובין חדשנות פורצת דרך המחדירה מוצר חדש לשוק ובכך מערערת את הסדר הקיים (O'Sullivan & Dooley, 2008). עם זאת, הבחנה זו הינה פשטנית ועשויה להיות בעייתית (Tidd, Bessant, & Pavitt, 2013). חוקרים מהאוניברסיטאות MIT ו-Harvard פיתחו מודל להגדרת חדשנות טכנולוגית המבדיל בין ארבעה סוגי חדשנות בסדר עולה. החוקרים בחנו האם נעשה שינוי מתון או דרסטי בשני ממדים: ממד רכיבי הליבה של הטכנולוגיה החדשה וממד הקשר שבין המרכיבים הללו (Henderson & Clark, 1990). הרמה הראשונה היא חדשנות אינקרמנטלית (הדרגתית) אשר משפרת את הביצועים של המוצרים הקיימים בשוק על ידי מציאת פתרונות העושים שימוש בידע ובטכנולוגיה הזמינה. בשל כך מדובר בשינוי מתון הן ברכיבים והן בקשר ביניהם. הרמה השנייה היא חדשנות מודולרית אשר עשויה להוביל לעיצוב מחדש של רכיבי הליבה של הטכנולוגיה, תוך השארת הקישורים בין הרכיבים ללא שינוי. הרמה השלישית הינה חדשנות ארכיטקטונית המשנה באופן מהותי את אופי האינטראקציות בין רכיבי הליבה של הטכנולוגיה, תוך חיזוק בלבד של מושגי הליבה. לבסוף, הרמה הרביעית הינה חדשנות פורצת דרך ובה מתחולל שינוי מהותי ברכיבי הטכנולוגיה ובקשר ביניהם.

חדשנות אינקרמנטלית הינה הצורה הדומיננטית של חדשנות טכנולוגית הקיימת כיום בשוק, יתכן ומשום שחדשנות פורצת דרך מצריכה תהליכים מורכבים יותר הנתפסים לא פעם כבעלי סיכון גבוה לרוב בשיפור יעילות, בידול מוצרים ושיווקם (Von Tunzelmann & Acha, 2005).

חדשנות בכלל וחדשנות טכנולוגית בפרט הינם פועל יוצא של חשיבה חדשנית שהינה אחת מן המיומנויות החשובות במילניום השלישי (Barak et al., 2013). חשיבה חדשנית נחקרה רבות בהקשר לעולם העסקים והתעשייה, שם ההתייחסות הינה לפיתוחם של רעיונות יצירתיים ויישומם באמצעות יצירת מוצרים, תהליכים ונהלים חדשים (Milliken, Bartel & Kurtzberg, 2003; Miron-Spektor, 2011; Erez & Naveh, 2011). חשיבותה הרבה של מיומנות החשיבה החדשנית בזירה התעסוקתית, מעלה את הצורך בבחינתם בקרב סטודנטים בהשכלה הגבוהה אשר יצטרפו בעוד מספר שנים לשוק העבודה (Amelink, Scales & Tront, 2012; Barak et al., 2013; Dyer, Gregersen, & Christensen, 2011; Fruehauf & Kohun, 2015).

על פי Dyer ועמיתיו (2011), חשיבה חדשנית הינה תהליך אותו ניתן ללמד סטודנטים ומכאן החשיבות בפיתוח תוכניות לימוד ומודלים פדגוגיים אשר יובילו לקידום ולפיתוח מיומנות זו בקרב לומדים. כיום ישנה מודעות הולכת וגוברת לחשיבות שבהכשרת סטודנטים לשליטה במיומנות החדשנות, עם

דגש על מקצועות המדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה (STEM) (Passig & Bozic & Dunlap, 2013; Cohen, 2014). בהקשר למקצועות ה-STEM, קיימת ההנחה כי חדשנות מצריכה את היכולת לקבל שינויים, לפתור בעיות באמצעות החלת מידע ידוע על מצבים לא ידועים, לתור אחר מידע חדש, לתמצתו, להעריכו כראוי וכן לבצע שיתופי פעולה לשם פיתוח רעיונות משותפים (Raviv & Barbe, 2010). עדיין, שילוב מיומנות החשיבה החדשנית בהוראה בהשכלה הגבוהה לוקה בחסר ונדרשים מחקרים נוספים לשם הבנת השינויים המתרחשים (Fruehauf & Kohun, 2013; Bozic & Dunlap, 2013).

## מטרה ושאלת המחקר

מטרת המחקר הנוכחי הייתה כפולה: ראשית, לאפיין חשיבה חדשנית בסביבה של קורס מבוסס פרויקטים; שנית, להשוות את רמת החדשנות של פרויקטים בסביבות למידה שונות. לאור זאת, המחקר נערך כדי לענות על שאלות המחקר הבאות:

1. כיצד ניתן לאפיין חדשנות בפרויקטים בנוטכנולוגיה?
2. מה מידת החדשנות של פרויקטים קבוצתיים בקורס הנדסי בנוטכנולוגיה?
3. האם קיימים הבדלים בין הקורס הפרונטאלי לקורס המקוון בציונים על חדשנות הפרויקטים?

## אולוסיית וסביבת המחקר

המחקר הנוכחי כלל 82 סטודנטים לתואר ראשון אשר למדו קורס מבוסס פרויקטים בנוטכנולוגיה וננו-חיישנים, בשתי סביבות למידה: פרונטאלי (N=40) ומקוון (N=42). כנהוג בקורסים מבוססי-פרויקט, הלמידה עוצבה כתהליך מתמשך שכלל מתן מענה לשתי שאלות פתוחות שהנחו את הסטודנטים באופן הדרגתי לעבר העבודה על פרויקט גמר. העבודה על הפרויקט התבצעה בקבוצות קטנות של שלושה עד ארבעה לומדים בעלי רקע מדעי והנדסי מגוון. הפרויקט דרש תכנון של ננו-חיישן חדשני העשוי לעזור לבני אדם בחיי היום יום והיווה 50% מהציון הסופי.

## כלי ושיטות המחקר

במחקר זה נעשה שימוש במערך המחקר המשולב מסוג Sequential Exploratory (Creswell, 2014) בו נאספים ומנותחים תחילה נתונים איכותניים ולאחר מכן נתונים כמותיים. הנתונים האיכותניים נאספו באמצעות ראיונות עומק חצי מובנים עם ארבעה מומחים בנוטכנולוגיה אשר הובילו ליצירתן של ארבע קטגוריות לבחינת חדשנות בפרויקטים הסופיים. לאחר מכן נעשה ניתוח מסמכים של הפרויקטים הסופיים באמצעות ניתוח תוכן אינדוקטיבי המבוסס על אותן קטגוריות. הנתונים הכמותיים נאספו באמצעות ניתוח לוגים של ציוני הפרויקטים, כמו גם מבחנים סטטיסטיים לבחינת ההבדלים בין קבוצות המחקר. ההבדלים בציוני הפרויקטים נבחנו באמצעות סטטיסטיקה תיאורית וניתוח שונות חד כיווני (ANOVA). הקורלציה בין ציוני הפרויקטים מצוות הקורס לציוניהם על פי הטקסונומיה נבחנה על ידי מבחן פירסון.

## ממצאים

פרק זה כולל שלושה תת פרקים אשר כל אחד מהם נותן מענה לאחת משלוש שאלות המחקר.

### אפיין חדשנות בפרויקטים בנוטכנולוגיה

ראיונות עומק חצי מובנים עם ארבעה מומחים בתחום הנוטכנולוגיה הובילו ליצירתן של ארבע קטגוריות לבחינת חדשנות בפרויקטים בתחום הננו-חיישנים. כל קטגוריה קודדה לערך מספרי על מנת להציג את הממצאים האיכותניים גם באופן כמותי. להלן ארבעת הקטגוריות והסברן:

1. **סוג החדשנות** (Innovation type) – קטגוריה זו מתבססת על הספרות הקיימת ובה חלוקה לארבעת סוגי חדשנות טכנולוגית: אינקרמנטלית, מודולרית, ארכיטקטונית ופורצת דרך (Henderson & Clark, 1990; Passig & Cohen, 2014). הקטגוריה בוחנת לאיזה סוג חדשנות מתאים ננו החיישן המוצג בפרויקט, האם הטכנולוגיה מהווה חידוש לזו הקיימת מבחינת רכיבי הליבה שלה והקשר בינם, והאם מדובר בחידוש מתון או מהותי. חדשנות אינקרמנטלית מהווה את סוג החדשנות הנמוך יותר, שכן בה קיים שינוי מתון הן ברכיבי הטכנולוגיה והן בקשר בינם. בשל כך פרויקט אשר הוגדר כמצג חדשנות מסוג אינקרמנטלי זכה לנקודה אחת. חדשנות מודולרית מציעה שינוי מהותי ברכיבים ושינוי מתון בקשר בינם ועל כן קיבלה שתי נקודות. חדשנות ארכיטקטונית מציעה שינוי מתון ברכיבים ושינוי דרסטי בקשר בינם ועל כן קיבלה שלוש נקודות. חדשנות פורצת דרך מציעה שינוי מהותי הן ברכיבי הטכנולוגיה והן בקשר בינם ועל כן

קיבלה את מספר הנקודות הרב ביותר – ארבע נקודות. ההבחנה בין החדשנות האינקרמנטלית לפורצת הדרך עלתה גם בריאיון שהתקיים עם מרצה הקורס: "חדשנות פורצת דרך היא כזו המשפרת את העולם והיא חדשנית יותר מחדשנות אינקרמנטלית. עם זאת, היא לרוב מעלה התנגדות ונדרש טווח זמן ארוך יותר לביצוע השינויים".

2. **נחיצות (Necessity)** – קטגוריה זו בוחנת באיזו מידה החיישן המוצג בפרויקט בא לתת מענה לבעיה הדורשת פעולה או תשומת לב מידית, בהתבסס על ההשפעה הפוטנציאלית שיש לחיישן על קהל רחב של אנשים. לדברי מרצה הקורס: "חיישתי פרויקט המציג פתרון שלא חשבו עליו עד כה לבעיה מאוד דחופה. חשוב ליצור תחושת בהילות- לשכנע אותי מדוע צריך להתאמץ להספיק עוד היום להוציא (את ננו החיישן) לשוק ולא לדחות זאת למחר".

3. **אינטרדיסציפלינריות (Interdisciplinarity)** – קטגוריה זו באה לבחון באיזו מידה החיישן מציג מגוון רחב של פרספקטיבות מדעיות והנדסיות. מדבריה של אחת המומחיות: "פרויקט טוב מורכב מכמה שכבות. ניתן לקחת לדוגמה את פרויקט החיישן לשליטה בכעס שהציג מערכת משולבת של מספר חיישנים שונים שכל אחד מהם בוחן היבט פיזיולוגי אחר המקושר עם תחושת הכעס הבלתי נשלט בגוף האדם. עליה בחום גוף למשל נמדדה על ידי ננו חלקיקי זהב ועלייה בלחץ דם ודפיקות לב נמדדה על ידי ננו חוטים מתחמוצות אבץ. חשיבה כזו מגיעה לא פעם משילוב של מערכות ידע שונות של סטודנטים המגיעים מתחומים שונים ומשלבים את הידע שלהם לכדי משהו גדול יותר שהופך להיות חדשני יותר".

4. **מוכנות לשוק (Readiness)** – באיזו מידה החיישן המוצג בפרויקט בעל פוטנציאל להפקה וייצור בפועל. מדברי אחד המומחים: "הפרויקט שזכור לי ביותר השנה הציג ננו חיישן לניטור תחושת העייפות. באופן משכנע ביותר הוא הדגים כיצד ניתן להסתמך על מכשיר חיסה שקיים בשוק ולשדרגו על ידי שימוש בחומר ננו צינוריות פחמן שהוא עמיד וקל יותר. מדובר בעבודה של מספר לא מבוטל של שנים על מנת להפיק חיישן שכזה לשוק, אך זה לגמרי אפשרי".

שלוש הקטגוריות האחרונות – נחיצות, אינטרדיסציפלינריות ומוכנות לשוק – קודדו על פי סולם הציונים: 1 (קיים באופן שטחי), 2 (קיים באופן חלקי), או 3 (קיים באופן מלא).

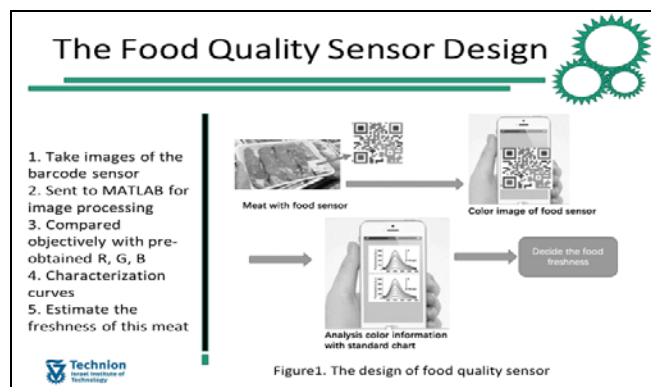
על סמך הטקסונומיה לעיל, התגבשה ההגדרה הבאה לחשיבה חדשנית בלמידה מבוססת פרויקט הנדסי: תהליך קוגניטיבי הכרוך בתכנון של מוצר המציג שינוי מהותי ברכיבי הטכנולוגיה ובקשר ביניהם, נותן מענה לבעיה הדורשת תשומת לב מידית, מציג מגוון רחב של פרספקטיבות מדעיות והנדסיות ובעל פוטנציאל להפקה בפועל.

#### מידת החדשנות של הפרויקטים הקבוצתיים בנוטכנולוגיה

בפרק זה נציג דוגמה לפרויקט אחד עבור כל סוג חדשנות: אינקרמנטלית, מודולרית, ארכיטקטונית ופורצת דרך.

#### דוגמה לחדשנות אינקרמנטלית: פרויקט החיישן לניטור איכות המזון

צריכת מזון מקולקל שאינו ראוי לאכילה הינה בעיה המטרידה את כולנו. הרציונל שהנחה את חברי הקבוצה היה כי השיטות השונות הקיימות כיום בשוק לניטור איכות המזון הינן בעלות עלויות גבוהות וצורכות זמן יקר. החיישן המוצג הינו מבוסס ברקוד המוטבע על המזון הנמכר ברשתות אשר יספק הערכה כמותית לגבי גיל ואיכות המזון. החידוש המוצע הוא כי את מקומו של הברקוד הרגיל יתפוס ננו ברקוד עשוי מתכת מסוג nanorods אשר ישמש כחיישן אופטי לניטור טמפרטורת גיל המזון כאינדיקטורים לאיכותו. באמצעות מצלמת הטלפון החכם אותו מידע חשוב אודות איכות המזון יוזן ישירות לאפליקציה בטלפון החכם וכך יהיה זמין בקלות בזמן אמת עבור כל אדם. מדובר אם כן בהתבססות על חיישן הקיים כיום בשוק, תוך כדי הפיכתו לזמין ושימושי עבור מספר רב יותר של אנשים (איור 1). בשל כך סווג הפרויקט כמציג חדשנות מסוג אינקרמנטלית ועל כן זכה לנקודה אחת מתוך ארבע על פי הטקסונומיה.



## איור 1. עיצוב החיישן לניתור איכות המזון

**דוגמה לחדשנות מודולרית:** פרויקט הפוליגרף מבוסס על ננוטכנולוגיה

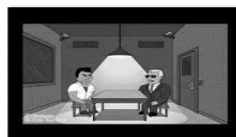
הפוליגרף מבוסס הננוטכנולוגיה מבצע את הפעולה המוכרת של המכשיר המסורתי ואף ישמש את אותם הארגונים העושים שימוש במכשירי פוליגרף מזה שנים (דוגמת המשטרה). רציונל הפרויקט יצא מן ההנחה כי הפוליגרף המסורתי הינו כבד ומסובך לתפעול ובשל כך הוצע לייצר מכשיר שיורכב מננו חלקיקי מתכת זעירים, אשר יבטיחו חיישן גמיש ודמוי עור אדם. אם כן, השינוי המהותי המוצע בפרויקט זה הינו במרכיבי הליבה של מכשיר הפוליגרף, כאשר אין שום שינוי בקשרים שבינם, קרי, באופן הפעולה או השימוש שיעשה במכשיר (איור 2). בשל כך סווג הפרויקט כמצגי חדשנות מסוג מודולרי וזכה לשתי נקודות מתוך ארבע על פי הטקסונומיה.

## Applications

The wearable miniaturized device for detecting pulse and respiration could be widely used in:

- **Police Investigations**

An interrogation tool for criminal suspects



- **Job Interviews**

Certain jobs for sensitive public or private sector employment e.g. with the FBI or CIA



## איור 2. היישומים המוצעים עבור חיישן הפוליגרף

**דוגמה לחדשנות ארכיטקטונית:** פרויקט הפי-9

הרציונל המוצג בפרויקט הינו כי אי שליטה בסוגרים הינה בעיה נפוצה המשפיעה על איכות חייהם של רבים. בשל כך, הציעו חברי הקבוצה ננו חיישן סיליקון אשר יושתל במעי ובשלפוחית השתן ויתריע על כל יציאה מראש. ננו חיישן שכזה עשוי להיות שימושי עבור קשישים, תינוקות ואף חיות מחמד. ננו חיישן סיליקון הינו חומר מוכר אשר נעשו בו בעבר שימושים המוצגים בספרות המחקרית. עם זאת, החדשנות הינה בקונספט בו מחובר ננו החיישן לשלפוחית השתן בקולונוסקופיה לשם סיפוק פתרון לבעיה עבודה לא קיים פתרון זמין ונוח כיום בשוק (איור 3). מכאן, פרויקט זה מצגי שינוי מתון במרכיבי הטכנולוגיה אך שינוי דרסטי בקשר בינם ובשל כך סווג כמצגי חדשנות מסוג ארכיטקטוני וזכה לשלוש נקודות מתוך ארבע על פי הטקסונומיה.



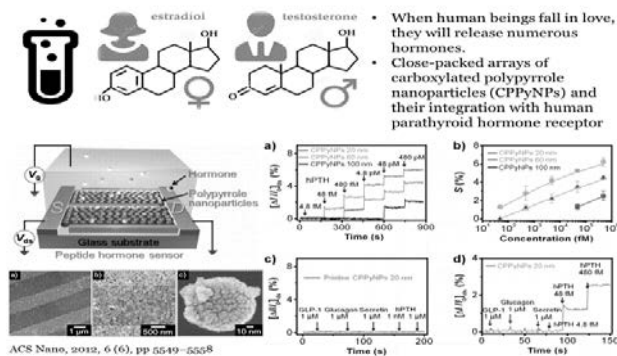
**The Nano-Solution: "PeePoo Sensor"**

- Radio frequency powered battery-less nano-sized sensor- implanted in the colon
- Functionalized to detect the fecal/urine sense signals in advance before defecation
- Can alert the individual to prepare well in advance 20 minutes before nature's call!

**איור 3. הרציונל העומד מאחורי חיישן הפי פו**

**זוגמה לחדשנות פורצת דרך: פרויקט חיישן לזיהוי אהבה**

פרויקט זה מתבסס על רגש אנושי עימו יוכל להזדהות כל אדם בעולם – תחושת ההתאהבות. חברי הקבוצה הציעו שילוב של מספר חיישנים שכל אחד מודד פרמטר פיזיולוגי אחר המקושר עם תחושת ההתאהבות (לדוגמה, שינוי בטמפרטורת הגוף הנמדד באמצעות ננו חלקיקי פחמן). במידה ובכך היה תם הפרויקט, אזי הוא היה נופל תחת קטגוריית החדשנות הארכיטקטונית. אלא שחברי הקבוצה הציעו למדוד היבטים פיזיולוגיים נוספים והם שחרור הורמונים (באמצעות ננו-חלקיקי CPPyNPs) ורטט הגוף (באמצעות חיישן Nanocrack). שלושת החיישנים המוצעים ניתנים להטמעה במכשיר זעיר שישולב בצידוד חכם דוגמת סמארטפון או משקפי גוגל. התוצר השלם המוצג בפרויקט שווה יותר מסכום חלקיו – חברי הקבוצה לקחו מספר חיישנים קיימים, אשר חיבורם יחדיו למען המטרה הסופית של מדידת ההתאהבות מהווה את החשיבה החדשנית (איור 4). בשל כך סווג הפרויקט כמצויג טכנולוגיה ברמת חדשנות פורצת דרך וקיבל את מלוא ארבע הנקודות על פי הטקסונומיה.



**איור 4. אופן הפעולה של חיישן האהבה**

**הבדלים בין הקורס הפרונטאלי לקורס המקוון מבחינת רמת החדשנות**

בפרק זה נבחנו הבדלים מבחינת רמת החדשנות בפרויקטים של הסטודנטים, תוך בחינת סביבת הלמידה אליה היו שייכים (קורס פרונטאלי מול מקוון). מבחינת הציונים על חדשנות בפרויקטים שניתנו על ידי צוות הקורס, נמצא כי הסטודנטים מקבוצת הקורס הפרונטאלי קיבלו ציון ממוצע גבוה יותר ( $M = 87.75, SD = 8.54$ ) בהשוואה לקבוצת הקורס המקוון ( $M = 81.05, SD = 11.61$ ). מעניין לראות כי הרף התחתון של ציוני קבוצת הקורס הפרונטאלי (85.02) היה גבוה מן הרף העליון של ציוני קבוצת הקורס המקוון (84.15). ניתוח שונות חד כיווני (ANOVA) הראה שהבדלים אלו מובהקים סטטיסטית ( $F(1,80) = 8.80, p = .004$ ). מבחינת הציונים הממוצעים שקיבלו הסטודנטים על פי הטקסונומיה, נמצא גם כן כי הסטודנטים מקבוצת הקורס הפרונטאלי קיבלו ציון ממוצע כולל גבוה יותר ( $M = 71.22, SD = 22.72$ ) בהשוואה לקבוצת הקורס המקוון ( $M = 67.47, SD = 15.10$ ). עם זאת, הבדלים אלו לא נמצאו מובהקים סטטיסטית.

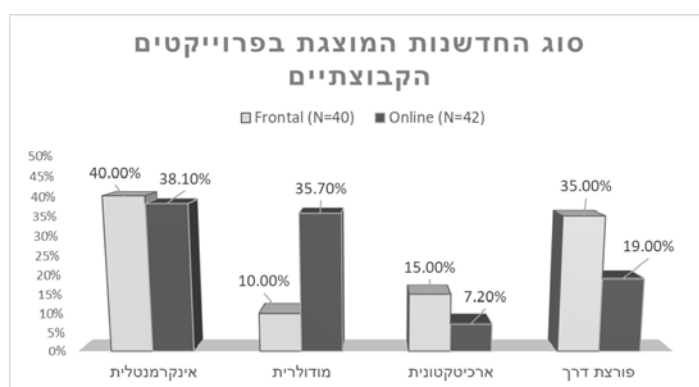
מבחן פירסון הראה כי ציוני הסטודנטים משתי הקבוצות נמצאו במתאם גבוה ומובהק סטטיסטית עם הציונים שהתקבלו על פי הטקסונומיה. מתאמים גבוהים ומובהקים נמצאו גם בין ציוני צוות הקורס עם כל אחת מארבע הקטגוריות המרכיבות את הטקסונומיה בנפרד, עבור שתי קבוצות

המחקר. הציונים הממוצעים על חדשנות בפרויקטים מצוות הקורס ובהתאם לטקסונומיה מוצגים בטבלה מספר 1.

טבלה 1. הציונים הממוצעים על חדשנות בפרויקטים, עבור שתי קבוצות מחקר

ציון על פי הטקסונומיה		ציון צוות הקורס על חדשנות		
ממוצע	סטיית תקן	ממוצע	סטיית תקן	
71.23	22.72	87.75	8.54	קורס פרונטאלי
67.47	14.92	81.05	11.61	קורס מקוון

התפלגות ארבעת סוגי החדשנות בקרב שתי קבוצות המחקר מוצגת באיור מספר 5. נמצא כי מירב הפרויקטים של הסטודנטים משתי הקבוצות נותרו ברמת החדשנות הנמוכה של חדשנות אינקרמנטלית (40% בקורס הפרונטאלי ו-38.10% בקורס המקוון). חדשנות מודולרית, המסווגת כחדשנות ברמה בינונית-נמוכה, הייתה שכיחה יותר בקרב הסטודנטים בקורס המקוון (35.70%), אל מול הסטודנטים בקורס הפרונטאלי (10%). ניתוח שונות חד כיווני (ANOVA) הצביע כי הבדל זה מובהק סטטיסטית ( $F(1, 80) = 23.43, p = .004$ ). מנגד, חדשנות ארכיטקטונית ופורצת דרך, אשר סווגו כחדשנות ברמות הגבוהות ביותר, היו שכיחות יותר בקרב הסטודנטים בקורס הפרונטאלי (35.00%, 15.00%), בהתאמה, בהשוואה לסטודנטים בקורס המקוון (19.00%, 7.20%, בהתאמה). הבדלים אלו יצאו גם הם מובהקים סטטיסטית.



איור 5. התפלגות ארבעת סוגי החדשנות בקרב קבוצות המחקר

## דין

מחקר זה בחן חשיבה חדשנית של סטודנטים בקורס הנדסי מבוסס-פרויקטים שהועבר בשני אופנים: כקורס פרונטאלי וכקורס מקוון. ראיונות עם מומחים הובילו לפיתוחה של טקסונומיה לאפיון חדשנות הכוללת ארבע קטגוריות: סוג החדשנות (אינקרמנטלית, מודולרית, ארכיטקטונית ופורצת דרך); מידת הנחיצות; מידת האינטרדיסציפלינריות ומידת המוכנות לשוק. נמצא כי מירב הפרויקטים שפיתחו סטודנטים משתי קבוצות המחקר נותרו ברמת החדשנות הנמוכה ביותר – חדשנות אינקרמנטלית. ממצא זה עומד בקנה אחד עם ההנחה כי סוג החדשנות האינקרמנטלית הוא נפוץ בעוד חדשנות פורצת דרך היא קשה יותר להשגה (O'Sullivan & Dooley, 2008; Tidd, et al., 2013; Von Tunzelmann & Acha, 2005).

הממצאים מצביעים על העדפה לקבוצת הסטודנטים בקורס הפרונטאלי, הן מבחינת הציונים שקיבלו מצוות הקורס על חדשנות בפרויקטים והן מבחינת הציונים שקיבלו על פי הטקסונומיה. בנוסף, סוגי החדשנות ברמות הגבוהות ביותר (ארכיטקטונית ופורצת דרך) היו שכיחים פי שניים בקרב הסטודנטים בקורס הפרונטאלי, אל מול עמיתיהם בקורס המקוון. ייתכן וההסברים שניתנו בכיתה ושאלות הבהרה שנשאלו מצד הסטודנטים בזמן אמת אפשרו הבנה טובה יותר של הדרישות לפרויקט, מאשר ההוראות הכתובות באתר הקורס המקוון (Usher & Barak, 2017). בנוסף, הריחוק הפיזי והתמיכה המוגבלת מצד צוות ההוראה בקורס המקוון יתכן והובילו להבנה חלקית של הקריטריונים במחווה עם דגש על החשיבות שבחדשנות החיישן המוצע (Barak, Watted, & Haick., 2016).

הממצאים מצביעים על קורלציה גבוהה ומובהקת סטטיסטית בין הציונים שהתקבלו מצד צוות ההוראה והציונים על פי הטקסונומיה, בקרב שתי קבוצות המחקר. כמו גם קורלציה גבוהה בין הציון הכולל על חדשנות מצוות הקורס עם כל אחת מארבע הקטגוריות המרכיבות את הטקסונומיה. מכאן ניתן להציע את הטקסונומיה לבניית מחוונים ולבחינת חדשנות בתוצרי למידה בקורסים מבוססי-פרויקטים בתחומי ההנדסה בהשכלה הגבוהה.

## מקורות

- Amelink, C. T., Scales, G., & Tront, J. G. (2012). Student use of the Tablet PC: Impact on student learning behaviors. *Advances in Engineering Education*, 3(1), 1-17.
- Barak, M., Morad, S., & Ragonis, N. (2013). Students' innovative thinking and their perceptions about the ideal learning environment. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Knowledge Management in Organizations*. Kaohsiung, Taiwan September (pp. 111-125).
- Barak, M., Watted, A., & Haick, H. (2016). Motivation to learn in massive open online courses: examining aspects of language and social engagement. *Computers & Education*, 94, 49-60.
- Bozic, C., & Dunlap, D. (2013). The role of innovation education in student learning, economic development, and university engagement. *Journal of Technology Studies*, 39(2), 102-111.
- Choi, J. N., & Chang, J. Y. (2009). Innovation implementation in the public sector: An integration of institutional and collective dynamics. *Journal of Applied Psychology*, 94, 245-253.
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. SAGE Publications. Kindle Edition.
- Cropley, D. H., & Cropley, A. J. (2010). Fostering creativity in engineering undergraduates. *High Ability Studies*, 11(2), 207-219.
- Daly, S. R., Mosyjowski, E. A., & Seifert, C. M. (2014). Teaching creativity in engineering courses. *The Research Journal for Engineering Education*, 103(3), 417-449.
- Dyer, J., Gregersen, H., & Christensen, C. (2011). *The Innovator's DNA: Mastering the Five Skills of Disruptive Innovators*. Boston: Harvard Business Press.
- Frankelius, P. (2009). Questioning two myths in innovation literature. *Journal of High Technology Management*, 20, 40-51.
- Fruehauf, J. D., & Kohun, F. G. (2015). Innovation education and diffusion in the United States: Using literature derived knowledge maps to develop research methodology strategy. *Proceedings of Informing Science & IT Education Conference (InSITE)*, 179-186.
- George, J. M. (2007). Creativity in organization. *Academy of Management Annals*, 1, 439-477.
- Henderson, R. M., & Clark, K. B. (1990). Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 9-30.
- Kay, R. H., & Lauricella, S. (2011). Unstructured vs. structured use of laptops in higher education. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 10, 33-43.
- Miller, A. L., & Dumford, A. D. (2014). Creative cognitive processes in higher education. *The Journal of Creative Behavior*, 50(4), 282-293.
- Milliken, F. J., Bartel, C. A., & Kurtzberg, T. R. (2003). Diversity and creativity in work groups. In P. B. Paulus & B. A. Nijstad (Eds.), *Group creativity through collaboration* (pp. 32-62). New York: Oxford University Press.
- Miron-Spektor, E., Erez, M., & Naveh, E. (2011). The effect of conformist and attentive-to-detail members on team innovation: Reconciling the innovation paradox. *Academy of Management Journal*, 54, 740-760.
- O'Sullivan, D., & Dooley, L. (2008). *Defining innovation*. Sage Publications.



- Passig, D., & Cohen, L. (2014). Measuring the style of innovative thinking among engineering students. *Research in Science & Technological Education*, 32(1), 56-77.
- Pellegrino, J. W., & Hilton, M. L. (2012). *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21<sup>st</sup> Century*. Washington: DC: The National Academies Press.
- Raviv, D., & Barbe, D. (2010). *Ideation to Innovation Workshop*. Paper presented at the annual American Association for Engineering Education Conference, Lexington, KY. Retrieved from <http://www.asee.org/search/proceedings>
- Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (2013). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*, 5th Edition. England : John Wiley & Sons, Ltd.
- Usher, M, & Barak, M. (2017). Online Peer Assessment and students' Familiarity: Are They Interdependent? In Y. Eshet-Alkalai, I. Blau, A., Caspi, N., Geri, Y., Kalman, & V., Silber-Varod (Eds.), *Proceedings of the 12th Chais Conference for Innovation and Learning Technologies*, (pp. 1-9), February 14-15, 2017, Raanana, Open University of Israel.
- Van de Ven, A. H. (1986). Central problems in the management of innovation. *Management Science*, 32, 590-607.
- Von Tunzelmann, N., & Acha, V. (2005). Innovation in "low tech" industries. In J. Fagerberg, D. Mowery and R.R. Nelson (Eds), *The Oxford Handbook of Innovation* (Chapter 15). Oxford University Press, Oxford, UK.