

## רפלקציה בתכנ הנדסי

ניסים סבאג, [nsbag@braude.ac.il](mailto:nsbag@braude.ac.il), ואילנה טרוצקובסקי, [elenatro@braude.ac.il](mailto:elenatro@braude.ac.il)

המכללה האקדמית להנדסה אורט בראודה, כרמיאל

### תקציר

המאמר מתאר דוגמאות של רפלקציה, שהתרחשו בשני מחקרים: הראשון הוא מחקר שכלל שני שלבים, נמשך שלוש שנים ועסק בחשיבה הנדסית, ואילו המחקר השני כלל ארבעה שלבים ונמשך גם הוא שלוש שנים, מחקר זה עסק בלמידה סביב פרויקטים (מתחום האלקטרוניקה). בשני המחקרים נעשה שימוש בשיטות כלי המחקר האיכותניים: ראיונות, שאלוני רפלקציה וניתוח תוכן של מסמכים. בשלב הראשון של המחקר הראשון, העוסק בחשיבה הנדסית, נערכו ראיונות עם 21 מומחים, בעלי ותק של 25 שנים לפחות, מהתעשייה והאקדמיה, על מנת לאסוף את דעותיהם על מופעי רפלקציה במהלך תכנ הנדסי. השלב השני של אותו המחקר הוקדש לאיתור מופעי רפלקציה אצל 20 סטודנטים במהלך בצוע התמחות בתכנ הנדסי בתעשייה ובאקדמיה. אירועי רפלקציה של 14 סטודנטים (המהווים קבוצה חלקית מתוך כיתה בת 34 סטודנטים הלומדים לקראת תואר הנדסאי אלקטרוניקה) נכללים גם הם במאמר זה. על סמך ממצאינו, אנו יכולים לומר, כי הסביבה שבה מתבצע תכנ של פרויקטים הנדסיים מהווה "מחולל רפלקציה". ניתן לסווג את ממצאי הרפלקציה, במחקרים המוזכרים, לשלוש קבוצות: בקבוצה השנייה ביותר נמצאים אירועי רפלקציה שהם תולדה של אי התאמה לציפיות המוקדמות, סוג אחר הוא רפלקציה המתבצעת בקבוצות (כמו למשל במהלך Corrective Design Review - CDR, או Preliminary Design Review - PDR) והסוג הנדיר יותר של רפלקציה הוא תוצאה של אינטואיציה. זאת רפלקציה המתרחשת למרות שהתוצאות הראשוניות נראות תקינות לחלוטין.

### מבוא

קשדן (2010), בהרצאתו על מתמטיקה ופילוסופיה, אומר כי "העיסוק ברפלקציה החל עוד בימי תלס (המאות השביעית-השישית לפנה"ס), כאשר המתמטיקאים החלו לחקור את הוכחות המשפטים בגיאומטריה. כך נוסדה שיטה מדעית חדשה, שבמרכזה החשיבה הרפלקטיבית, כלומר החשיבה על החשיבה עצמה ולא רק על אובייקטים אחרים. מתודה זאת הייתה גם בסיס לפילוסופיה של המתמטיקה". למרות העקבות הכל כך קדומים של הרפלקציה, נראה כי עד עצם היום הזה לא ניתן לומר, כי החשיבה הרפלקטיבית היא מנת חלקו של האדם חושב באשר הוא. גם בימינו אלו יש המטיפים לשימוש גובר במתודה חשובה זאת ומגייסים את מיטב יכולות השכנוע במטרה להגביר רפלקציה, במיוחד ככל שהדברים נוגעים לחינוך. במאמר זה נציג דוגמאות מתוך שני מחקרים העוסקים בחשיבה הנדסית (מחקר דו שלבי שנמשך כשלוש שנים) ולמידה סביב פרויקטים (מחקר ארבע שלבי שנמשך כארבע שנים). הדוגמאות מראות, כי ישנן סביבות לימודיות המסייעות לבצע רפלקציה.

## סקר ספרות

### חשיבה וחשיבה ביקורתית בתכן הנדסי

Poincare' (1908), אחד המתמטיקאים הגדולים של המאה העשרים, טען שקיימים שלושה שלבים בתהליך הגילוי והחקר, המתרחשים במודע ובתת מודע. השלב הראשון מתקיים בתודעה מלאה (מאמצי חשיבה), אחריו מתבצע שלב בתת-מודע ולבסוף מתקיים שוב שלב בתודעה. השלב האחרון הכרחי לארגון תוצאות ההשראה, לבצוע הסקה דוקטיבית, לארגון המבנה כייצוגי ולאומות וודאיות התוצאות. לדעתו של Poincare' השלב בתת-מודע הוא האינטואיטיבי בו עולות אינסוף אפשרויות והאינטואיציה ממיינת ובוחרת ביניהם. הבחירה היא חושית, מתרחשת בסף ההכרה ומניעה אסתטיים; כך נולדת ה"הברקה" מתוך האינטואיציה. בשלב האחרון, המתבצע בתודעה בעזרת כלים לוגיים, נערך ארגון ובדיקת אמינות ותקיפות ה"הברקה", מוכרז כגילוי. הבחנה זו בין הלוגיקה והאינטואיציה, ביטא Poincare' במפורש באופן הבא:

"It is by logic we prove, it is by intuition that we invent." (Poincare', 1908)

גישה חדשה לניתוח החשיבה, המכונה ע"י הפסיכולוגיה הקוגניטיבית בשם 'תיאורית התהליך הדואלי' (dual-process theory), מתוארת בין השאר ע"י Kahneman (2002) ולפיה חשיבה אנושית מתקיימת בשני אופנים מקבילים ושונים, הנקראים מערכת ראשונה (System 1 or S1) ומערכת שנייה (System 2 or S2). S1 מתייחסת לחשיבה אינטואיטיבית ו-S2 מתייחסת לחשיבה אנליטית אבסטרקטית. שתי מערכות אלה פועלות בדרכים שונות, מופעלות בחלקים שונים של המוח ובאות ממקור אבולוציוני שונה. מבחינה אבולוציונית, S1 יותר עתיקה מ-S2.

פעולות S1 מבוססות על תפיסה. לפיכך הן תת הכרתיות יעילות, מהירות, אוטומטיות וללא מאמץ. S1 אינה גמישה וקשה לשנות את תוצריה: זיכרונות, תפיסות, עמדות. לעומתה S2 משקפת קוגניציה או חשיבה לוגית. תהליכי איטיים, אינם אוטומטיים, דורשים מאמץ אינטלקטואלי ומתרחשים בהכרה מלאה. היא אינה יעילה מבחינת זמן ומאמץ, אך גמישה יחסית. על פי סטנוביץ ווסט (Stanovich & West, 2003), S2 מבצעת תפקיד בקרה על כל הפעולות המנטאליות ובכך היא מאפשרת ביטוי מילולי של כל החלטות שהאדם מקבל. כפי שמצוין אצל Evans (2003), S1 מתוארת בדרך כלל כקוגניציה אוניברסאלית המשותפת לבני אדם ובעלי חיים. היא אינה מערכת אחת נפרדת, אלא אוסף תת מערכות הפועלות באוטונומיה יחסית. S1 כוללת התנהגויות אינסטינקטיביות מולדות, לעומת S2, הקיימת רק אצל בני אדם. הפעולות שלה הן איטיות וסדרתיות ומשאביה, בעיקר הזיכרון המופעל על ידה, מוגבלים. למרות זאת, רק היא יכולה לבצע חשיבה אבסטרקטית היפותטית, בשעה ש-S1 אינה מסוגלת לבצע פעולות מסוג זה. בתהליך קבלת החלטות מעורבות שתי המערכות: S1 אחראית לכך שבעת קבלת החלטות האדם יתייחס לניסיונו הקודם, לתפיסותיו ולעמדותיו; S2, לעומת זאת, אחראית, בזמן קבלת ההחלטה, על בניית מודלים מנטאליים וסדרות של מחשבות המאורגנות באופן הגיוני.

הפסיכולוגיה הקוגניטיבית מכירה בתופעה, שעל-פיה לאחר התנסות רב פעמית חלק מהפעולות של S2 מועברות ל-S1. כמו למשל נהיגה שבתחילה דורשת לימוד ממושך ומנוהלת בהיסוס, הופכת להיות פעולה אוטומטית - הדורשת מעורבות של S1. גלדוול (Gladwell, 2005) וצ'רנובסקי (1997) מביאים דוגמאות רבות בהן עבודה מהירה מאוד של אינטואיציה אצל מומחים מספקת פתרונות לבעיות מסובכות. סטנוביץ ווסט (Stanovich & West, 2003) מתארים מנגנון העברה של חלק מהפונקציות הנרכשות מ-S2 ל-S1.

העברה זו אופיינית למומחים המנוסים ביותר ובעזרתה ניתן להסביר את החלטות המהירות והמפתיעות ברמה מקצועית הגבוהה ביותר. בהמשך מובאת דוגמה של סטודנט שביצע בדיקות ברובוט, שנועד לניקוי בריכות מים. בזכות האינטואיציה חשד הסטודנט שמשוהו לא בסדר, למרות שתוצאות הבדיקה הראשוניות הראו, כי הכל תקין. רפלקציה היא אחת התכונות הבולטות של חשיבה ביקורתית. לפי הגדרה של האגודה האמריקאית לפילוסופיה (American Philosophical Association, 1990), חשיבה ביקורתית זה תהליך של שפיטה מכוונת מטרה המתבצעת תוך ויסות עצמי. תוצאות של שיפוט זה הן פירוש, הבחנה, אנליזה, הערכה והסקת מסקנות. כלומר, חשיבה ביקורתית מבוססת רפלקציה.

החוקרים Paul & Elder (2002) ו-Facione & Ciancarlo (1997) מציגים מודלים אחדים לפיתוח החשיבה הביקורתית. בנוסף, Paul, Niewoehner & Elder (2006) מצביעים על הקשר בין חשיבה הנדסית וחשיבה ביקורתית ומיישמים את המודל לפיתוח חשיבה ביקורתית של Paul & Elder (2002) בתחום ההנדסה. המודל מהווה מסגרת לניתוח והערכה של מוצרים אינטלקטואליים הנדסיים כמו דוחות, תיעודי פיתוח וכדומה. כל מרכיב של המודל לפיתוח החשיבה מפורט באמצעות דוגמאות ושאלות רלוונטיות לעבודה הנדסית. המודל מיושם גם בתחום של השכלה הנדסית במובן של טיפוח מרכיבים וכישורים, והוראת סטנדרטים אינטלקטואליים. המודל מתאר חשיבה של מהנדסים מנוסים ועוזר לפיתוח חשיבה הנדסית בקרב סטודנטים ומהנדסים טירונים.

מהנדס מקבל החלטות רבות בעבודתו. בדרך כלל החלטות אלה מנומקות היטב, אך קיימים מצבים בהם על המהנדס לסמוך על האינטואיציה. חקר החלטות הנדסיות מורכבות בהן מעורבות לוגיקה ואינטואיציה, S2 ו-S1, מהווה אתגר לעבודת המחקר המוצגת כאן בתחום החשיבה הנדסית.

### רפלקציה בהוראה ולמידה

דיואי (Dewey, 1933), מגדיר פעולה רפלקטיבית כפעולה מתמדת וזהירה, כתגובה לבעיה שנוצרה, המערבת גם אינטואיציה ורגשות. הוא הגדיר חמישה היבטים של חשיבה רפלקטיבית: העלאת הצעות, רעיונות, המשגה, העלאת השערות, הסקת מסקנות לגבי הסברים אפשריים, בחינת ההשערות באמצעות פעולה. כלומר על פי דיואי החשיבה הרפלקטיבית היא סוג של חשיבה גבוהה המשולבת במחקר פעולה עצמי שמטרתו להשפיע על עשייה משופרת של הפעולה. זילברשטיין וכן - פרץ (1998) כותבים: "ייחודו של האדם כייצור אנושי הוא במודעותו לעצמו וביכולתו לבקר את מחשבתו, פעולתו והתנהגותו. האדם הוא מטבעו יצור רפלקטיבי המסוגל להיות בעת ובעונה אחת גם הסובייקט החושב, ה"אני" הפועל, וגם האובייקט הנחשב, האני המשמש מושא למחשבותיו. משום שהאדם רפלקטיבי, הוא מבקר את מעשיו, בוחן את מחשבותיו, בודק הליכותיו ולומד מניסיונו. על כן רק טבעי הוא שגם בשגרת עבודתו של המורה נצפה לגלות רפלקטיביות רבה.

רוברט אניס (1996) מגדיר חשיבה ביקורתית כפעילות רפלקטיבית ומעשית שמטרתה אמונה שקולה או פעולה שקולה. מושגי היסוד הנכללים בהגדרה זאת הם: מעשי, רפלקטיבי, שקול, אמונה ופעולה. בשלהי דבריו אומר אניס (שם) שאין עדיין תכנית קוריקולרית להוראת החשיבה הביקורתית. Johnson (1997) טוען, שיש הבדל בין התנסות לבין למידה מאותה ההתנסות. גם אם הלמידה מתקיימת בסביבה עשירת תוכן תוך כדי פעילויות שונות ושיתוף פעולה עם עמיתים, למידה איכותית לא תתקיים, אלא אם מתקיימת חשיבה רפלקטיבית. אנשים שאינם מבצעים רפלקציה על התנסותם אינם מצליחים ללמוד מהניסיון.

ג'ונסון (שם) מציין, כי למרות שהערכה עצמית ורפלקציה הנן פעילויות קריטיות בלמידה, רק תלמידים מעטים עושים זאת. בדרך כלל התלמידים המצליחים לפתור את הבעיה הלימודית שהוצבה בפניהם, ממשיכים במשימותיהם באופן ליניארי מבלי לבצע כלל רפלקציה על מעשיהם.

ההתנהגות המתוארת על ידי ג'ונסון אובחנה גם אצל תלמידים, שבצעו פרויקטים במסגרת אחד המחקרים הנזכרים כאן. התלמידים נדרשו על ידי מוריהם לרשום את רשמיהם, מסקנותיהם ואפילו כיצד הרגישו במהלך עבודתם, אך במקרים רבים התחמקו מכך ובמקרים אחרים ביצעו את הרישום רק כדי לצאת ידי חובה. עם זאת מאפיין חשוב של פרויקטים באלקטרוניקה הוא שלעיתים מזומנות התלמידים אינם מצליחים לפתור את בעיית הפרויקט בקלות, ואז הם נדרשים בעל כורחם לבצע רפלקציה על דרך הפתרון שלהם. כמו כן, פרויקט באלקטרוניקה מאופיין בכך שבמהלך ההרכבה מתגלות תקלות. תלמיד, הנדרש לתקן את התקלות, מבצע רפלקציה גם אם אינו מודע לכך.

ריצ'רד פול (1996) משווה בין הנחות היסוד של התיאוריה הדידקטית המקובלת לבין הנחות היסוד של תיאוריית ההוראה הביקורתית. להלן השוואה של שתי התיאוריות מבחינת מקומם של ערכים, אחת ההנחות הרלוונטיות במיוחד לענייננו. ע"פ תיאוריה דידיקטית: אנשים יכולים לרכוש ידע משמעותי בלי לחפש אחריו ולהעריך אותו. חינוך יכול להתרחש ללא שינוי ערכים של הלומד. ע"פ התיאוריה הביקורתית: אנשים רוכשים רק ידע שהם מחפשים ומעריכים. כל למידה אחרת היא שטחית. חינוך אמיתי משנה את ערכיו של הלומד.

סווארץ (1996) גורס, שבעיית ההעברה של מיומנות חשיבה ביקורתית היא בעיית מפתח ושיש לטפל בה, אם רוצים שהדגש החדש על חשיבה ביקורתית יהיה אפקטיבי. אנו צריכים לסייע לתלמידנו לא רק לרכוש את מיומנות החשיבה הביקורתית, אלא גם לפתח בהם את היכולת להשתמש בה בהקשרים נכונים.

Schon (1983) קבע את המושג רפלקציה בפעולה (Reflection in action) בניגוד ל- Reflection on action המתרחשת לאחר מעשה. לדבריו, לעתים בחיי היום יום אנו מוצאים עצמנו יודעים לעשות דברים באופן ספונטני ואינטואיטיבי, אך אין אנו מסוגלים להסביר מה אנו יודעים. ערך רב יש בכך שאדם נדרש לתאר באופן מקצועי, על סמך קריטריונים ברורים, מה הוא עשה. חשוב לדעת להסביר את ההצלחה כשם שחשוב לדעת להסביר מה גרם לכישלון המעשה.

במחקרים שתארנו, לא נעשה ניסיון ללמד לקראת חשיבה ביקורתית אך נעשה ניסיון לתאר אירועי רפלקציה, המתרחשים במהלך תכנון הנדסי בתעשייה ובעבודת תלמידים בפרויקטים (Reflection in action), כמו גם אירועי רפלקציה שביצעו התלמידים לאחר מעשה.

## דרכי המחקר

המחקרים המהווים בסיס למאמר זה מתבססים על הגישה האיכותנית, שהתפתחה בחצי השני של המאה ה-20, במדעי החברה, כגון סוציולוגיה ואנתרופולוגיה (Denzin & Lincoln, 2000). על פי גישה זו, הדגש בחקר התנהגות האדם הוא על ההיבטים הנראים משמעותיים לחוקר.

מטרת החקר היא האדם, ו"החוקר נדרש להבנת האדם ופעולותיו, ולפירושו" (צבר בן יהושע, 1995). לפי שיטת המחקר האיכותנית נדרשת במיוחד במחקרים מתחום החינוך, בהם חשוב להבין התנהגויות התלמידים, תהליכי חשיבה, יחסי גומלין בין מורים לתלמידים, וכדומה. בניסיון לבדוק תהליכים ולהבין את הסיבות שלהם, המחקר הכמותי הקלאסי בדרך כלל אינו יכול לספק מידע רחב מספיק.

מבין כלל האסכולות המתוארות אצל Denzin & Lincoln (2000) נתרכז במחקר הפרשני. מטרת המחקר הפרשני היא להבין ולפרש פעולות, משמעויות, תהליכים, יחסי גומלין בתופעה הנחקרת (שלנסקי ואריאלי, 2001). מחקרי החינוך הפרשניים מתעניינים בגילוי אינטראקציה בכיתה, יחסי גומלין בין אנשי צוות, אסטרטגיות פעולה של הנחקרים ומשמעויות הדברים בעיניהם.

להבטחת אמינות המחקרים המוצגים כאן נעשה שימוש בדרכים המוצעות אצל (צבר בן יהושע, 1995; Patton, 2001; Lecompte & Preissle, 1993):

- ניתוח לא שיפוטי של ראיות והבאת עובדות והסברים לא ערכיים.
- ביצוע זהיר של הכללות, רק כאשר החוקר משוכנע במסקנותיו תוך ציון מגבלות הכללה.
- בדיקת הסברים מתחרים על מנת לכסות את חוסר התוקף הקלאסי של כלי המחקר האיכותניים.
- חיפוש ראיות נוגדות. אי מציאת ראיות אלו מצביעה על מוצקות ממצאי המחקר.
- טריאנגולציה של נתונים, דהינו הצלבת הנתונים שנאספו על ידי כלים שונים, בין נבדקים שונים, או אף בין מחקרים שונים.
- הגעה לרוויה תיאורטית, כלומר איסוף וניתוח נתונים עד המצב בו ניתוח נוסף לא מוסיף שום חידוש למודל התיאורטי הנבנה.
- ניהול נכון של ראיונות, על ידי הבהרת כוונותיו המראיין, שימוש בשפה משותפת עם המראיין, שאלת שאלות ברורות, הימנעות משאלות דו-משמעויות, וכדומה.

### אוכלוסיית המחקר

במחקרים הנסקרים כאן נכללו אוכלוסיות אחדות:

- 21 מומחים מהתעשייה והאקדמיה בתחום הנדסת חשמל ואלקטרוניקה, בעלי ותק של 25 שנות עבודה, לפחות.
- כ- 20 סטודנטים להנדסת חשמל ואלקטרוניקה, המבצעים פרויקט בתעשייה במסגרת התמחות בתכן הנדסי.
- 14 סטודנטים אשר ביצעו פרויקט באלקטרוניקה במסגרת לימודי הנדסאות (זוהי קבוצה חלקית, מתוך 34 סטודנטים להנדסאות שהשתתפו במחקר הלמידה סביב פרויקטים. באותו המחקר השתתפו גם מאות תלמידי תיכון שהממצאים אודותם אינם מובאים כאן).

### כלי המחקר

במחקרים הנסקרים נעשה שימוש במידע, שנאסף על ידי כלים שונים: שאלוני רפלקציה, ראיונות וניתוח מסמכים.

#### א. ראיונות

נערכו ראיונות עם מומחים במטרה לאפיין חשיבה הנדסית בכלל וחשיבה ביקורתית - רפלקטיבית בפרט. לשם כך נערכו 21 ראיונות עם מהנדסים בעלי ניסיון רב בהנדסה. בבחירת המראיינים נלקח בחשבון שתהליך תכן הנדסי בתעשייה מודרנית עתירת טכנולוגיה הינו תהליך מורכב ומעורבים בו מהנדסים מתחומי דעת שונים. במקרים רבים נדרש שתוף פעולה בין מהנדסי חשמל ואלקטרוניקה, מהנדסי מכונות, פיסיקאים, מהנדסי מערכת, תעשייה וניהול, תוכנה, חומרים ומומחים בתחומים אחרים.

כמו כן נערכו ראיונות עם סטודנטים ומהנדסים צעירים להנדסת חשמל ואלקטרוניקה של מכללה אקדמית, במהלך ביצוע פרויקט הגמר, בתכן הנדסי, ועם מהנדסים צעירים – בוגרי המכללה לאחר סיום פרויקט הגמר. במטרה לזהות אצל הסטודנטים, התנהגויות רפלקטיביות, כפי שתוארו על ידי המומחים. המרואיינים נבחרו באופן, שיאפשר להציג טווח רחב של סביבות עבודה הנדסית. לפיכך, רואיינו סטודנטים שבצעו פרויקטים בתחומים שונים של אלקטרוניקה דיגיטאלית, אלקטרוניקה אנלוגית, אינטגרציה ובדיקות, תחום תדר גבוה RF ופיתוח תוכנה.

### ב. שאלוני רפלקציה

בגמר פעילות הפרויקטים התבקשו התלמידים למלא שאלוני רפלקציה. בשאלונים אלו התבקשו התלמידים לציין כיצד הרגישו, כיצד חשבו, מה למדו ומה היו עושים אחרת אילו חזרו שוב על אותה הפעילות ונערך ניתוח תוכן של השאלונים המלאים.

### ג. ניתוח מסמכים

הסטודנטים שהשתתפו בשני המחקרים, הנסקרים במאמר זה, נדרשו למלא מסמכי עבודה תוך כדי ביצוע הפרויקט. חברי קבוצת הסטודנטים מלימודי ההנדסאים, נדרשו אפילו לכתוב מה הם מרגישים במהלך העבודה, בנוסף על ניתוח החשיבה שלהם. המסמכים נקראו ובוצע בהם ניתוח תוכן.

## **ממצאים**

על מנת להצניע את זהות מקורות המידע, הם קודדו באופן הבא. במחקר, שעסק בחשיבה הנדסית כל קוד מורכב משלושה מספרים, שהראשון הוא 1. הספרה השנייה יכולה להיות 1 או 2 ומצביעה על תת-האוכלוסייה: 1 – מומחים, 2- סטודנטים. המספר השלישי הינו הקוד האישי של האינפורמנט. לדוגמה, הקוד [1.1.8] מתאר ציטוט מראיון עם מומחה שמספרו האישי 8, הראיון נערך במחקר שעסק בחשיבה הנדסית. הערות של החוקרים מובאות בכתב נטוי ובסוגריים (*Italic*). שמות החברות קודדו גם הם. מהמחקר, שעסק בלמידה סביב פרויקטים לא הובאו ציטוטים פרטניים. הנתונים המוצגים מתייחסים למגמות כלליות שאובחנו אצל התלמידים.

בחשיבה מדעית תיאורטית בדיקת נכונות המודל, או החוק החדש שהוצע מתבצעת לרוב על ידי בחינת מידת ההתאמה של התופעה עצמה והתיאוריה החדשה שהוצעה. זאת אומרת, שמדען במהלך חשיבתו והתקדמותו, על מנת לבדוק את עצמו, יכול להפעיל בעיקר רפלקציה דמיונית או אבסטרקטית. במקרים רבים חסרים לו כלים אחרים המאפשרים לבקר את חשיבתו.

מצבו של המהנדס שונה לחלוטין. בסוף שלב פיתוח מתקדם עומד לפני המהנדס אבטיפוס או תוצר ממשי, אשר ניתן לבדוק אותו במצבים שונים, למשל, בסטרס חשמלי או מכאני, למדוד את ביצועיו, כמו יחס אות לרעש או מהירות התגובה, לחקור את השפעתם של פרמטרים אחדים על פרמטרים אחרים, למשל, השפעת טמפרטורה של מגבר על הגבר, ועוד. כלומר, בפיתוח הנדסי רפלקציה מובנית בתהליך ומהווה שלב הכרחי בעבודתו וחשיבתו של המהנדס.

ברוח זו, חוקרים אחדים מכלילים רפלקציה בתהליך תכן הנדסי. על פי (Voland 1999), רפלקציה היא שלב אחרון בתהליך תכן הנדסי. יחד עם זאת הוא מציין: "A sixth step in the process, reflection may be included." (שם, עמ' 7). כלומר, הוא אינו תופס רפלקציה כשלב הכרחי בפיתוח. לדעתנו, רפלקציה היא שלב מובנה בתהליך החשיבתי ההנדסי, לפיכך היא חלק בלתי נפרד מהקוגניציה ההנדסית.

ניתן להבחין ברעיון זה בצייטוטים הבאים של המומחים:

✓ אחרי שחשבנו על פיתרון אנחנו צריכים לממש אותו. ואחרי שמימשנו אותו אנחנו צריכים לראות שהוא באמת עובד. כן? זאת אומרת אנחנו תמיד עוסקים במשהו, שאפשר לראות את התוצאות שלו. כן? אפשר לבחון אותן. אה... בניגוד למשל לפיתרון איזושהי בעיה במתמטיקה. יכול להיות שאני אפתור איזושהי בעיה במתמטיקה, אני אגיע למסקנה שזה הפיתרון הנכון, אני אהיה מאוד חרוץ ו... ואבדוק את הפיתרון, ועפ"י כל הכללים שאני מכיר, כן? אבל אני לעולם לא אוכל להגיד בוודאות כי הנה, זה הפיתרון, אין יותר משהו אחר. כן? לעומת זאת ב... כשאני הולך לפתור בעיה הנדסית, המוצר שאותו תכנתי עומד מול העיניים ואני יכול לראות האם הוא פותר את הבעיה שאליה התכוונתי, שאותה התכוונתי לפתור. כן או לא. יש לי פה איזשהו משוב, איזושהי רפלקציה מהמציאות. אוקיי? אני לא לבד בקטע הזה, אני לא צריך לעשות רפלקציה רק עם עצמי ועם המחשבות שלי. אני נעזר במשהו שהוא ממשי [1.1.17]

✓ אבל בשלב שאתה מקבל את זה וזה לא עובד, אז אתה מתחיל לחשוב [1.1.16]

יש לציין שעקב אופן העבודה הקבוצתית בהנדסה, רפלקציה זו אינה חייבת להיות אינדיבידואלית ויכולה להיות מופעלת יחד עם עמיתים לעבודה.

הציטוט הבא מתייחס למקרה זה:

✓ לפעמים התמיכה היא לא רק מהסביבה, ה... זאת אומרת... מהמוצרים, אלא גם מהסביבה האנושית. בהרבה מהמקרים אנחנו עובדים בקבוצות. ובהרבה מהמקרים יש תפקידים שונים לחברים בקבוצה, כן? אז יכול לבוא אדם שתפקידו לעמוד בסוף הדרך ולבחון את המוצר עפ"י קריטריונים שהוא בקיא בהם, אני לא, כי אני המתכנן אולי פחות בקיא. אבל הוא מאוד בקיא ומאוד מנוסה. ואותו אדם שאחראי על הבדיקות הסופיות יגיד: רגע, אתה לא שמת לב לדבר הזה. כלומר, יש לי פה גם עזרה, קבלת רפלקציה מהצוות, מהאנשים שאני עובד איתם [1.1.17]

הציטוטים המובאים לעיל תומכים בטיעון שרפלקציה מובנית בתהליך חשיבתי הנדסי.

סטודנטים, בראיונותיהם, מביאים דוגמאות רבות בהן בא לידי ביטוי תהליך חשיבתי רפלקטיבי בשלבים השונים של התכן הנדסי. אחד משלבי הפיתוח שבהם רפלקציה מופיעה כמעט תמיד, הוא שלב בדיקות חומרה או תהליך debugging של תוכנה. בדיקת נכונות פעולתה של המערכת מתבצעת במקרים רבים על ידי הכנסת שגיאות בנתוני כניסה שונים וניתוח תגובתה לקלט שגוי:

✓ מאוד עוזר ומאוד יעיל וככה גם אפשר לגלות הרבה בעיות. זה מאוד יעיל הדרך הזאת. להכניס שגיאות ידנית... זה סימולציות. אני בעצם מתכנן בסימולציות כדי לראות אם באמת הכול עובד. אני יכול להכניס דגימות למשל, ב-EXCEL, אני יכול להכניס דגימות ואז לראות גרפים. בלי להשתמש ב-encoder. ואני יכול להכניס שגיאות שאני רוצה ואני מכניס כאילו משהו מלאכותי, אני מכניס offset של חמישים מילי וולט, אז אני רוצה לקבל בכיול offset של חמישים מילי וולט.. אז מתחילים לחפש איפה הבעיה. אני ממש מתחיל להיכנס לקוד שורה, שורה ולראות איפה הבעיה. איפה התפספס משהו. [1.2.2]

✓ ממש להכניס אותו (בקר) לתנאי קיצוני. לגרום לו לתקלה כזאתי בדיוק כשהוא בזמן כזה. ולראות אם התכנת חשב על זה. שהמכשיר לא עושה reset פתאום. שלא נעלם הזיכרון. עשיתי את זה במקביל לקבלת התקלות ממש מהשטח. לשחזר אותם והמטרה שלי הייתה לאפיין אותם, להביא אותם לתכנת, התכנת מתקן, מביא לי. והתהליך הזה חוזר על עצמו [1.2.4]

גילוי שגיאות ותקלות הוא שלב הכרחי בתכן הנדסי, בו נבדקת נכונות החשיבה הנדסית. הסטודנט ר' מתאר לא רק תהליך גילוי שגיאה אלא גם מציאת סיבתה:

✓ ר': זאת אומרת עכשיו ה-connector של ה-USB. רק דוגמה שבזבזתי עליה שלושה ימים. אחרי שחיברתי הכול, אני מחבר את הכרטיס למחשב, לא קורה כלום.

✓ ח': מה, הרגליים אחרות?

✓ ר': מה קורה? העורך... ה-connector הוא בסוף מכני. יש לו 4 רגליים כאלה שיוורדים על הפדים. העורך טעה במספור של הרגליים. הוא עשה תמונת ראי. אם זה קורה אז זה תמיד תמונת ראי. אם זה קורה במכאניקה... זה קורה הרבה. שמכאניקה לפעמים עושים את זה בראי [1.2.5]

ציטוט זה מדגים גם את יכולת הסטודנט להיכנס לחשיבה של עמיתו לעבודה - עורך הכרטיסים- ולהבין את מקור הטעות שנעשתה.

יע' מספר על שינוי בתפיסתו והבנה עמוקה של הפרעות אלקטרומגנטיות והשפעתן על מעגל חשמלי. הוא שמע על התופעה ואפילו למד עליה, אך לא חשב על חשיבותה עד שראה ומדד את הפרמטרים בזמן הבדיקות:

✓ באחד המעגלים הבוס שלי התעקש שאני אשים שמה ground plane ואני אאריק אותו, ושאני אשים שם את ההארקה. וזה לא נתפס לי למה אני צריך את זה. למה זה טוב? רעש, אז אתה אומר, פלורוסנטים מקרינים, אז סלולאריים, בסדר. שיקרינו, מה זה כבר עושה, זה לא עושה כלום בטח. זה סתם פרנויה. אבל אז שאתה רואה שאתה מקבל סטייה של מילי וולטים כשאתה עובד במיקרו וולטים אז אתה אומר אה, רגע. בוא נעצור ונסתכל שוב. אבל זה דברים שזה לא מוחשי לך [1.2.8]

הציטוט מעיד על שינוי בתפיסת סטודנט שחל בעקבות משוב שהתקבל מהמערכת המפותחת במהלך בדיקות.

כאן ניתן לזהות תהליך קוגניטיבי רפלקטיבי של הבנת התופעה ובניה של ידע מחדש על בסיס תובנה עמוקה. את כל הדוגמאות הקודמות ניתן לייחס לסוג אחד של רפלקציה, שבה תגובה אי-תקינה או שגיאה של המערכת מעוררות את חשיבת המהנדס וגורמות לתהליך אנליטי המתבטא בבחינה נוספת של חשיבתו הקודמת ומציאת מקור הטעות. הדוגמא הבאה מתארת רפלקציה מסוג אחר כאשר תגובה תקינה, אך טובה מדי, מעוררת גם היא תהליך חשיבתי רפלקטיבי:

✓ אני עושה גם בדיקות על מנועים. אחת הבדיקות הייתה לבדוק מנוע בתוך המים. אז שמנו אותו בתוך קופסה. ואחד הדברים שהגדירו לי זה לעשות את זה הכי קרוב למציאות. אז אתה לא לוקח כבל סתם, אתה לוקח כבל של רובוט אמיתי. משהו כמו 20-23 מטר, עבה, שרץ לספק. עשיתי בדיקות טמפרטורה על המנוע. רציתי לבדוק מנוע בהספק X מה הטמפרטורה של הסלילים שלו. אז חיברתי, יש חומר שנקרא thermocouple, פתחתי את המנוע, הדבקתי, הוצאתי. ואז יש אופציה לבדוק את הטמפרטורה. שמתי מתח מסוים, עומס מסוים. קיבלתי הספק כניסה. אני יודע פחות או יותר באיזה הספק כניסה אני יודע לעבוד. רציתי 100 וואט. ראיתי שהספק מוציא לי 100 וואט. עשיתי את הבדיקה, הכול טוב. ואז אני חושב אחרי כמה ימים, אני מסתכל ואני אומר: רגע, יש לי כבל של 23 מטר, זה לא כבל של מטר. על הכבל הזה יש אימפדנס. באתי בדקתי את הכבל. ואז סתם, אחד המהנדסים שם אומר, תגיד, על הכבל של הרובוט נופל מתח? הוא אומר לי: בטח, נופל שם 2-3 וולט. אני בא, בודק. עבדתי על זרם של 4 אמפר. בודק את האימפדנס של הכבל, הוא היה 0.73, אני זוכר את המספר. עשיתי חישוב, 4 כפול 0.73, נופל לי שם 3 וולט. אני חישבתי את זה עם 24 וולט. לא היה 24. היה 21. הבנתי כשראיתי שהתוצאות יותר מדי טובות. אותו מנוע שבדקתי לפני חודשיים, פתאום הוא מתחמם פחות. [1.2.9]

ניתן לראות, שהסטודנט לא ראה בעיה בתוצאות הבדיקה. להיפך, התוצאות היו טובות מדי. עובדה זו גרמה לו להטיל ספק בנכונותן, והספק עורר תהליך רפלקטיבי שהביא את הסטודנט למציאת השגיאה הנסתרת בתוצאות והטעות בחשיבתו.



ניתן לסכם, ששינוי מתגובה נורמטיבית גם לכיוון החיובי וגם לכיוון השלילי יכול להוות גירוי לחשיבה רפלקטיבית. על העמקת ההבנה והגעה לתובנות חשובות בשלב הבדיקות, כלומר, בשלב החשיבה הרפלקטיבית, מדבר גם ק':

✓ אתה כל הזמן חושב שיש לך הבנה מלאה ואז אתה מגיע לעוד איזושהי תובנה. אתה מגלה את ה-spec, אתה אומר, הבנתי, ואז פתאום אחרי שמגיעים לשלב של לדבג. אז אתה אומר פתאום, אולי לא חשבת על המצב הזה, ואתה מתקן משהו בסביבה שלך. זה משהו שהוא מאוד דינמי. כל הזמן מוצאים עוד תיקונים. עוד דברים שיש לעשות [1.2.6]

מכל הציטוטים המובאים לעיל ניתן להסיק שהמהנדס מתקדם למטרה הרצויה באופן דדוקטיבי. הוא שואף לתוצאה חיובית בלבד תוך עמידה בפרמטרים ספציפיים. לשם השגתם הוא עובר תהליך חשיבתי איטרטיבי עם רפלקציה המובנית בו. הדבר מוצא את ביטויו גם בנייתוח עבודות הסטודנטים.

### שאלוני רפלקציה

באחד השלבים במחקר הלמידה סביב פרויקטים, בצעו 14 סטודנטים (מתוך כיתה של 34) פרויקטים במקום נסויי מעבדה. בגמר פעילות הפרויקטים מילאו הסטודנטים שאלוני רפלקציה. בהם התבקשו לציין כיצד הרגישו, כיצד חשבו, מה למדו ומה היו עושים אחרת אילו חזרו שוב על אותה הפעילות. 12 תלמידים (מתוך 14 תלמידי קבוצת הניסוי) השיבו לשאלון. נערך ניתוח תוכן של השאלונים המלאים, ממנו עולות המסקנות העיקריות הבאות: הסטודנטים התבקשו לתאר את הרגשתם, בתחילת הפעילות, כשהתבקשו להסביר את תפקיד הפרויקט על סמך תרשים מלבנים בלבד. 4 דיווחו על תחושת מבוכה, דילמה, או לא יודעים איך להתחיל. 6 סטודנטים חשים אתגר, רצון להתמודד למרות שהמשימה נראית קשה.

8 סטודנטים דיווחו על חשיבה מתכנסת (חושבים על רעיון אחד ומנסים לשפרו), 4 סטודנטים דיווחו על חשיבה מסתעפת (חושבים על רעיונות רבים).

הסטודנטים נשאלו האם הם נוהגים לחשוב על דרך החשיבה של עצמם (רפלקציה). 4 השיבו לא באופן מוחלט, 6 השיבו תשובה לא ברורה ואילו 2 השיבו בחיוב אך הדוגמה שהציגו אינה משכנעת שאכן הם מבצעים רפלקציה. מסקנה: סטודנטים לא מרבים לחשוב על אופן החשיבה של עצמם.

4 סטודנטים מעדיפים לחשוב לבד, 5 מעדיפים לחשוב ביחד עם השותף ו 3 מעדיפים לחשוב לפעמים לבד ולפעמים ביחד עם השותף.

10 סטודנטים מעדיפים לייצג בעיה, אותה הם נדרשים לפתור, בעזרת שרטוט ואילו 2 סטודנטים מעדיפים לייצג בעיה בעזרת מלל.

5 סטודנטים הנם בעלי הבנה מערכתית (הבינו איך פועל הפרויקט בשלבים מוקדמים של הפעילות), 7 סטודנטים לומדים באופן אינדוקטיבי (חייבים לראות פרטים לפני שמבינים את התמונה הכוללת).

7 סטודנטים אהבו במיוחד את שלב הסיום, שבו ראו את הפרויקט פועל, בגלל ההצלחה שאחרי המאמץ ובגלל הגאווה בתוצאה הסופית. 5 סטודנטים אהבו במיוחד את ההרכבה ותיקון התקלות, "משום שזהו השלב שבו לומדים הכי הרבה אלקטרוניקה".

הסטודנטים הגיבו למשפט הבא: "בראיה לאחור אם הייתי צריך לבצע פרויקט זה שוב הייתי משנה את:", באופנים הבאים: 4 מעדיפים להיות מעורבים יותר בתכנון (לתשומת לב המורים), 2 הצעות לשיפור המפרט הטכני, 5 הצעות לשינוי סדרי ההרכבה, 2 הצעות לשינויים אדמיניסטרטיביים והצהרה על כך שהתלמיד לא ייבהל יותר, כשיידרש לבצע פרויקט נוסף.

מתשובות הסטודנטים לשאלה האם הם מבצעים רפלקציה, ניתן היה לקבל את הרושם, כי אינם עושים זאת, אולם כשבודקים את תשובות הסטודנטים ליתר השאלות רואים, שהסטודנטים אכן מסוגלים לשחזר את דרכי החשיבה שלהם, ואף הציעו הצעות לשיפורים. אם כי חשיבה זאת אינה מתרחשת מאליה – יש לעודד זאת.

### ניתוח מסמכי עבודה של הסטודנטים

נעשה ניתוח דיווחים על תקלות. הסטודנטים התבקשו לדווח על תקלות, שפגשו במהלך פעילותם בפרויקט, על הדרך שהם פתרו את התקלות, על הגורם שעזר להם להבין את התקלה ואת הדרך לפתרון. בסך הכל דווחו 25 תקלות. מתוך כלל אירועי התקלות ניתן לסווגן על פי תרומתן ללימודי הסטודנט באופן הבא: תקלות המספקות תמיכה בתיאוריה או העברת ידע תיאורטי או מעשי, (מספריהן הסידוריים: 1, 3, 9, 10, 11, 19, 22). לדוגמה בתקלה מספר 1 נשרף ממסר, הסיבה לכך, התפתחות מתח מאוד גדול כתוצאה משינויי זרם מהירים מאוד דרך הסליל. הדרך המוכרת לפתרון הבעיה היא חיבור של דיודה במקביל לסליל הממסר. לא קיים הסבר תיאורטי דידקטי, מתודי ובהיר ככל שיהיה, המשתווה להתנסות אחת של שריפת סליל בהבהרת התופעה. את הלקח הזה הסטודנט יפנים. כמו כן אותרו תקלות הגוררת יצירתיות: (6, 13, 14), תקלות הדוחפות ללימוד נושא חדש, שלא נלמד בכתה: (8, 18, 23, 25) ותקלות הגורמות לרכישת הרגלי עבודה נכונים: (5, 10, 20). מרבית התקלות המדווחות גררו אחריהן את מה ש Schon (1983) מכנה Reflection in action למעט, אלו שהתלמיד הצליח לתקן במקרה ולא הפיק מהן מסקנות לימודיות (מספריהן ברשימה: 7, 12, 15, 16, 21, 24). לדוגמה בתקלה מספר 12 נמצאו שני נגדים מנותקים. ניתן היה לראות בעין את הנתק, ולכן גם לא הוסקו כל מסקנות לימודיות מהאירוע.

### דיון

את תיאורי הרפלקציה ההנדסית שהובאו במאמר זה ניתן לסווג בדרכים שונות. במרבית המקרים הרפלקציה היא תוצאה של אי התאמה בין התוצאות בפועל לבין דרישות התכן. עם זאת, ישנם מקרים נדירים יותר, בהם הרפלקציה מתרחשת גם כאשר התוצאות המתקבלות הן טובות מדי. במקרה כזה, נדרשת אינטואיציה חזקה או ניסיון רב. מראיונות המומחים, שנערכו במחקר בחשיבה הנדסית, ניתן לזהות גם רפלקציה הנערכת בקבוצות. כמו כן העידו המומחים שבתהליך הפיתוח ההנדסי בתעשייה, קיימים נהלים המחייבים ביצוע CDR (Corrective Design Review) ו PDR (Preliminary Design Review), המאלצים את העוסקים בתכן הנדסי לבצע רפלקציה בקבוצות, המונות מומחים מתחומי תוכן שונים. הרפלקציה כתהליך לשיפור הלמידה מוזכרת רבות בספרות החינוך בכלל ובהקשר של למידה סביב פרויקטים. עם זאת הדיווחים על ביצוע רפלקציה על ידי תלמידים אינם מספקים. נראה, כי ניסיונות לעודד רפלקציה באמצעות הדרישה לכתוב בזמן אמת את המחשבות, הרגשות והפעילויות אינה זוכה לאהדת התלמידים. תלמידים רבים מעדיפים להתחמק ממטלה זאת. התלמידים המתעדים את המתרחש בזמן אמת, עושים את המינימום הדרוש כדי לצאת ידי חובה. במרבית המקרים התלמידים אינם מכירים בתרומת הרפלקציה לפיתוח החשיבה והלמידה. עם זאת הובחנו מקרים בהם התלמידים התבטאו בזכות הרפלקציה. נראה, כי למידה סביב פרויקטים באלקטרוניקה מכילה לפחות שני אלמנטים חשובים המעודדים את התלמיד לבצע רפלקציה (גם אם אינו מודע לכך). בכל אחד מהפרויקטים, שבוצעו במהלך שני המחקרים המתוארים כאן, (מאות פרויקטים), ארעה לפחות תקלה אחת.

על סמך ראיונות עם סטודנטים בכל שלבי המחקר, על סמך ניתוח מסמכים ושאלונים של סטודנטים, ניתן לקבוע, שתקלה בפרויקט משמשת כ"מחולל רפלקציה". בעקבות תקלות, שאירעו בפרויקטים, בשני המחקרים המהווים בסיס למאמר זה, הסטודנטים נאלצו לחשוב מחדש על דרך החשיבה שלהם. זהו תהליך רפלקטיבי התורם ללמידה. השימוש בכלי המחקר השונים (טריאנגולציה) ובאוכלוסיות שונות מחזק את טענתנו בזכות הלמידה הכוללת תכן הנדסי של פרויקטים. תהליך התכן (Design), שהוא מהות התיכון ההנדסי ואחד התהליכים הנכללים בלמידה סביב פרויקטים באלקטרוניקה, הנו רפלקטיבי (Schon, 1983). ממצאי המחקרים, שהוצגו במאמר זה, מכילים תיאורים של סטודנטים המעורבים בתכן הנדסי ומבצעים רפלקציה תוך כדי כך. עם זאת יש לציין, שהובחנו גם מקרים בהם התקלה לא נוצלה לשם ביצוע רפלקציה. אלו הם המקרים בהם הסטודנטים הצליחו לתקן את התקלה לגמרי במקרה (למשל אם הבחינו בעין בגורם התקלה ולא נדרשו לחקור את הסיבות להתהוותה). נתונים מעודדים יותר התקבלו במחקר, שעסק בחשיבה הנדסית. שם הסטודנטים בצעו פרויקטים אמיתיים בתעשייה, שבה הדרישה לחשיבה ביקורתית מוטמעת בנוהלי העבודה של החברות המתקדמות.

## תם אך לא נשלם

חקר החשיבה ההנדסית ודרכים לפיתוחה במהלך הלימודים לתואר ראשון בהנדסה היא סוגיה המתאימה למחקר המשך. להלן מובאים מספר רעיונות לחקר מעמיק של אספקטים שונים בחשיבה הנדסית. נשאלות השאלות הבאות: האם סוגי הרפלקציה, שהוצגו כאן הינם עיקריים או שקיימים סוגי רפלקציה נוספים? האם אי תקינות של מערכת (רפלקציה מהסוג הראשון) או תחושה אינטואיטיבית של אי תקינותה (רפלקציה מהסוג השני) הינם גורמים יחידים המעוררים את מנגנון החשיבה הרפלקטיבית? מה משותף ומהם הבדלים בחשיבה רפלקטיבית של מהנדס מנוסה, מהנדס טירון וסטודנט להנדסה? מחקר מעמיק של הרפלקציה ההנדסית עשוי לתת תשובות לשאלות אלה. כמו כן, ניכרת חשיבות רבה למציאת דרכים לעידוד תלמידים לבצע רפלקציה, בדומה לנעשה בתכן הנדסי בתעשייה.

## מקורות

- אניס, ר. (1996). טקסונומיה של נטיות ויכולות של חשיבה ביקורתית. אצל י. הרפז (עורך): *חינוך לחשיבה ביקורתית*. הוצאת האוניברסיטה העברית ומכון ברנקו וייס.
- זילברשטיין, מ., בן פרץ, מ. (1998). מבוא. אצל זילברשטיין, מ., בן פרץ, מ., זיו, ש. (עורכים). *רפלקציה בהוראה ציר מרכזי בהתפתחות המורה*. מכון מופ"ת.
- סווארץ, ג. ר. (1996). חשיבה ביקורתית, תוכנית הלימודים ובעיית ההעברה. אצל י. הרפז (עורך): *חינוך לחשיבה ביקורתית*. הוצאת האוניברסיטה העברית ומכון ברנקו וייס.
- פול, ר. (1996). ללמד חשיבה ביקורתית במובן החזק: ללכת אל מעבר להשקפות עולם. אצל י. הרפז (עורך): *חינוך לחשיבה ביקורתית*. הוצאת האוניברסיטה העברית ומכון ברנקו וייס.
- צבר בן-יהושע, נ. (1995). *המחקר האיכותי בהוראה ובלמידה*. תל-אביב: מודן הוצאה לאור.
- צ'רנובסקי, א. (1997). *חשיבה המצאתית שיטתית ופתרון בעיות טכנולוגיות*. קרונוברג ספרות מקצועית, תל אביב: קרונוברג ספרות מקצועית.
- קשדן, ד. (2007, דצמבר) על מתמטיקה ופילוסופיה. הוצאת האקדמיה הלאומית למדעים. יובא מהאתר [http://www.academy.ac.il/data/egeret/88/EgeretArticles/D\\_Kashdan.pdf](http://www.academy.ac.il/data/egeret/88/EgeretArticles/D_Kashdan.pdf) בתאריך 7 ביוני, 2010
- שלנסקי, ש. ואריאלי, מ. (2001). מהגישה הפרשנית לגישה פוסט – מודרניסטית בחינוך. בתוך: צבר בן יהושע, נ. (עורכת), *עיונים במסורות ובזרמים במחקר איכותני* (עמ' 31-76). אבן יהודה: רכס מ"ל.
- American Philosophical Association. (1990). Critical Thinking: A Statement of Expert Consensus for Purposes of Educational Assessment and Instruction. "The Delphi Report", Committee on Pre-College Philosophy. (Eric Doc. No. ED 315 423).

- Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (2000). *Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks, London: Sage Publications.
- Dewey, J. (1933) *How We Think*, Chicago: Henry Regnery
- Evans, J. (2003). In two minds: dual – process account or reasoning. *Trends of Cognitive Sciences*, 7(1).
- Facione, P.A., Facione, N.C. & Ciancarlo, C.A.F. (1997). *Professional Judgment and the Disposition Toward Critical Thinking*, The California Academic Press, Millbrae, CA.
- Gigerenzer, G., Todd, P. M. and the ABC Research Group (1999). *Simple Heuristics that Make Us Smart*. Oxford : University Press.
- Gladwell, M. ( 2005). *Blink: the power of thinking without thinking*. New York: Little, Brown and Company.
- Goldschmidt, G. (2003). Cognitive Economy in Design Reasoning. In U. Lindeman (Eds). *Human behavior in design*. Individuals, Teams, Tools. Berlin: Springer.
- Johnson, D. S. (1997). Learning Technological Concepts and Developing Intellectual Skills. *International Journal of Technology and Design Education*. 7. (pp. 161 – 180). Kluwer Academic Publishers.
- Kahneman, D. (Nobel Prize Lecture, December 8) (2002). "*Maps of bounded rationality: A perspective on intuitive judgment and choice*", in T. Frangsmyr (Eds.), Les Prix Nobel, 416-499. Retrieved October 21, 2006 from <http://nobel.se/economics/laureats/2002/kahnemann-lecture.pdf>.
- LeCompte, M. D., Preissle, J., & Tesch, R. (1993). *Ethnography and Qualitative Design in Educational Research*, Second Edition . Academic Press.
- Paul, R.W. & Elder, L. (2002). *Critical Thinking: Tools for Taking Charge of Your Professional and Personal Life*. NJ: Prentice-Hall, Upper Saddle.
- Paul, R.W., Niewoehner, R.J. & Elder, L. (2006). *A Miniature Guide to Engineering Reasoning*. CA: Foundation for Critical Thinking, Sonoma.
- Poincare' H., (1908): Mathematical Discovery (In Science and Method). 1998-1999,AMS in Cipra B.(1998 ): *What's Happening in the Mathematical Sciences* American Mathematical Society, pp 115-126. Also in: <http://www.ias.ac.in/resonance/Feb2000/pdf/Feb2000Reflections.pdf>
- Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. NY: Basic Book Incorporation.
- Stanovich, K. E. & West, R. F. (2003). *Evolutionary versus instrumental goals: How evolutionary psychology misconceives human rationality*.
- Voland, G. (1999). *Engineering by Design*. US: Addison Wesley Longman.