

# הנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון

ד"ר אורני מרבאום-סלנט ופרופ' אורית חזן  
המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים, הטכניון, חיפה

## 1. הקדמה

פיתוח תוכנה הוא תהליך מורכב המלווה בבעיות רבות כגון, אי עמידה בלוחות זמנים, איחור במועד האספקה, שינויים בדרישות הלקוח והעדר תקשורת בינאישית (Brooks, 1987; Hamlet and Maybee, 2001; Tomayko and Hazzan, 2004). מחקרנו מראה שבנוסף לקשיים האופייניים לתעשיית התוכנה, במסגרת הבית ספרית קיימים קשיים נוספים בתהליכי פיתוח תוכנה.

תעשיית התוכנה ודיסציפלינת הנדסת התוכנה ניסו ועדיין מנסות למצוא פתרונות לקשיים אלו. אולם, למרות המאמץ המתמשך בהגדרת מתודולוגיות פיתוח תוכנה במהלך מחצית המאה האחרונה, לא נמצא עד היום סטנדרט לתהליך פיתוח תוכנה ולא הושגה הסכמה על מתודולוגיה אחת שתתאים לכל פרויקטי התוכנה. באופן דומה, למרות הקשיים עמם מתמודדים מורים בהנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה, לא קיימת כיום מסגרת הוראה לפיתוח פרויקטי תוכנה במדעי המחשב. עובדה זו חיזקה את הצורך במתודולוגיה להנחיית פרויקטי תוכנה בתיכון שתיתן מענה לקשיים המלווים תהליך זה. במאמר זה נציג מחקר בו פותחה והוערכה מתודולוגיה להנחיית פרויקטי תוכנה בתיכון – ACMM – Agile Constructionist Mentoring Methodology<sup>1</sup> (מתודולוגיה הנחיה אגילית קונסטרוקטיוניסטית) המספקת מענה לאתגרים עימם מתמודדים המורים.

## 2. תיאור המחקר

### 2.1 מטרת המחקר ושאלות המחקר

מטרת המחקר היא לאפיין תפיסות והיבטים פדגוגיים של הוראת פיתוח פרויקטים במדעי המחשב בתיכון, ועל סמך אפיון זה לבנות ולהעריך מתודולוגיה להנחית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון.

ממטרת המחקר נגזרו שאלות המחקר הבאות:

א. כיצד תופסים פרחי הוראה למדעי המחשב, מורים ומעריכים תהליכי פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון (מטרה, קשיים, שיטות הוראה, אמצעים לשיפור, התפתחות מקצועית, והערכה)?

ב. אלו תהליכים פדגוגיים מתרחשים בתהליכי פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון?

ג. על אילו היבטים פדגוגיים לבוא לידי ביטוי בתהליך בניית מסגרת הוראה להנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון, שאינה תלויה נושא, פרדיגמה תכנותית או סוג מערכת, והכוללת את כל שלבי הפיתוח?

### 2.2 סביבת המחקר ומשתתפי המחקר

נתוני המחקר נאספו בכיתות מדעי המחשב בהם מפתחים תלמידים פרויקטי תוכנה במהלך שנת לימודים אחת וכן בהשתלמויות מורים שהתמקדו בהנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון.

משתתפי המחקר היו: מורי מדעי המחשב המנחים פיתוח פרויקט תוכנה בתיכון, מורי מדעי המחשב המעריכים פרויקטי תוכנה בפרדיגמות השונות במינוי משרד החינוך והתרבות, מורי מדעי המחשב שהשתתפו בהשתלמויות שהונחו ע"י כותבות מאמר זה בנושא הנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה והנחו פרויקטים באמצעות המתודולוגיה המתוארת במאמר, פרחי הוראה למדעי המחשב הלומדים במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים בטכניון, ותלמידי מדעי המחשב שפתחו פרויקטי תוכנה באמצעות המתודולוגיה שפותחה.

1. שם המתודולוגיה מורכב מ- ACM ו- CMM.

ACM (Association for Computing Machinery) הוא ארגון המאגד אנשי ונשות מקצוע מהאקדמיה ומהתעשייה בתחומים מדעי המחשב, הנדסת תוכנה ותחומים קרובים נוספים; CMM (Capability Maturity Model) הוא גישה לשיפור תהליכי תוכנה המגדירה עבור הארגון מרכיבים שישומם עשוי לשפר את תהליכי הפיתוח.

### 2.3 שיטת המחקר וכלי המחקר

1. ידע תוכני (content knowledge): עובדות ומושגים הקשורים לתחום ידע מסוים.
2. ידע של עקרונות פדגוגיים כלליים (general pedagogical knowledge): תיאוריות למידה, תיאוריות ואמונות כלליות תוך התייחסות לעקרונות רחבים ואסטרטגיות של ניהול כיתה שהם מעבר לנושא התוכני.
3. ידע קוריקולרי (curriculum knowledge): תוכניות לימודים וחומרי לימוד, מיקום תכנית הלימודים ברצף לימוד המקצוע וזיקת תחום הדעת למקצועות אחרים.
4. ידע פדגוגי-תוכני (pedagogical content knowledge): תמהיל של תוכן ופדגוגיה שהוא בחזקת המורה בלבד והמתייחס לדרך הפרטית שלו או שלה להבנת התחום ולדרכים לארגון וייצוג התחום באמצעות רעיונות, אנלוגיות, המחשות, דוגמאות, הסברים וכו'. ידע פדגוגי-תוכני כולל גם את תפיסות של תלמידים, הבנת הסיבות לקשיים בלמידת נושא מסוים, ואסטרטגיות שיסייעו ללומדים בתהליך הלמידה.
5. ידע על לומדים ומאפייניהם (knowledge of learners and their characteristics): מאפיינים קוגניטיביים של לומדים, היבטים התפתחותיים של למידה, תהליכי למידה וקשיי למידה, הבנת רמת התפתחות/ה של כל תלמיד/ה, סגנונות קוגניטיביים המאפיינים חשיבת תלמידים, ניתוח קשיים של תלמידים, והתאמת מטלות לצורכי התלמידים.
6. ידע של הקשרים חינוכיים (knowledge of educational context): נושאים לוקאליים (כמו, עבודה בקבוצות), נושאים גלובליים יותר (כמו למשל, מימון בית הספר ואופיין של קהילות ותרבויות), ומסגרות חינוכיות שונות וברמות שונות.
7. ידע של מטרות החינוך (knowledge of educational ends): מטרות, יעדים וערכים ובסיסם ההיסטורי והפילוסופי.

היות והמחקר מתמקד בתפיסתם של פרחי הוראה, מורים ומעריכים את תהליך פיתוחם של פרויקטי תוכנה בתיכון, בחרנו בגישה האיכותנית לביצוע המחקר. הנתונים נאספו באמצעות מגוון כלים: שאלונים עליהם ענו 90 מורי מדעי המחשב המנחים פיתוח פרויקטי תוכנה, תצפיות שבועיות בנות שעתיים במהלך שנה אקדמית אחת בשתי כיתות בהן מפתחים תלמידים פרויקטי תוכנה, דיווחי 7 מורים על תצפיותיהם בכיתותיהם שבהן פיתחו התלמידים פרויקטים באמצעות ה-ACMM, ראיונות חצי מובנים עם 12 מורים המנחים פרויקטי תוכנה לאו דווקא באמצעות ה-ACMM, ראיונות עם 7 מעריכי פרויקטים מטעם משרד החינוך, ראיונות עם 8 מורים שהשתתפו בהשתלמות בנושא והנחו פרויקטים באמצעות ה-ACMM, ראיונות רפלקטיביים עם 9 המורים שהנחו פיתוח פרויקטי תוכנה (7 באמצעות ה-ACMM ו-2 שלא באמצעותה), עבודות של פרחי הוראה ושל מורים שהשתתפו בהשתלמויות, קבוצת מיקוד של תלמידים שפיתחו פרויקטי תוכנה באמצעות ה-ACMM, רפלקציות של 70 תלמידים שפיתחו פרויקטים באמצעות המתודולוגיה, וכן יומן חוקרת.

### 3. רקע תיאורטי

בסעיף זה נציג את שלושת מקורות הידע עליהם התבססה בניית ה-ACMM: מודל בסיס הידע של שולמן (סעיף 3.1), קונסטרוקטיוניזם (סעיף 3.2) ופיתוח תוכנה אגילי (סעיף 3.3).

**3.1 מודל בסיס הידע של המורים (Shulman, 1987)**  
תיאורית בסיס הידע של מורים מתמקדת במבני הידע המשותפים למורים, במטרה להצביע על השונות בין המורים תוך הדגשת ייחודו/ה של כל מורה. באמצעות המודל, המורכב משבע קטגוריות, מציג Shulman (1987) את בסיס הידע להוראה, המשקף את הקשר בין הבנת תכני המקצוע לדרכי הוראתו. להלן מוצגות שבע הקטגוריות:

קל לראות כי תהליך פיתוח פרויקט תוכנה מונחה ע"י עקרונות קונסטרוקטיוניסטים היות ומדובר בבניית מוצר. בנייה זו מבדילה תהליכי פיתוח תוכנה בתיכון מפיתוח פרויקטים בתחומי דעת מדעיים אחרים כמו למשל, ביולוגיה או מדעי הסביבה, שבהם לא בהכרח נבנה מוצר במהלך הפרוייקט.

Seungyeon and Kakali (2007) קישרו בין קונסטרוקטיוניזם לסביבת למידה באמצעות פרויקטים (Problem Based Learning - PBL). קשר זה מודגש כאן היות ופיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון הוא דוגמה ל-PBL בהקשר להוראת מדעי המחשב. לטענתם של Seungyeon and Kakali (2007), הקשר בין קונסטרוקטיוניזם לסביבת PBL מתבטא באווירת למידה ממוקדת תלמידים ובמיקוד ביצירת תוצר כחלק מתהליך למידה אוטנטי המבוסס על ניסיון חיים. לכן, לומדים הופכים לבונים פעילים של ידע בשעה שהם מתמודדים עם הבנת והפנמת התוכן. לפיכך, מנקודת מבט קונסטרוקטיוניסטית, פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון יכול לתרום לבניית ידע כאשר הוא משולב באסטרטגיות הוראה מתאימות (Papert, 1993). המתודולוגיה שפותחה במהלך המחקר – ה-ACMM – היא דוגמה לאסטרטגיית הוראה מתאימה.

### 3.3 פיתוח תוכנה אג'ילי

במהלך העשור האחרון, כתגובה לבעיות המאפיינות פיתוח תוכנה במתודולוגיות פיתוח תוכנה מסורתיות, צמחה התפיסה האג'ילית (agile software development) המציעה גישה חלופית לניהול ופיתוח פרויקטי תוכנה. משמעות המילה agile היא זריז, גמיש, המתאים את עצמו לסביבה באופן מבוקר. מתודולוגיות פיתוח תוכנה אג'יליות מייחסות חשיבות לאנשים המעורבים בתהליך הפיתוח כאשר תפקיד תהליך הפיתוח הוא לתמוך בצוות הפיתוח (Fowler, 2005). Highsmith (2002) טוען כי בעיות המאפיינות בשינויים תכופים נפתרות על-ידי מתודולוגיות פיתוח אג'יליות בצורה טובה ביותר. טבלה 1 מציגה את המנשר (מניפסט) של התפיסה האג'ילית.

לטענת שולמן (1987) מבין הקטגוריות הנ"ל, ידע פדגוגי תוכני (PCK) חשוב במיוחד היות והוא מייצג תמהיל של תוכן ופדגוגיה להבנה כיצד נושאים ספציפיים, בעיות, או נושאים, מאורגנים, מוצגים ומוטמעים. ל-PCK מקום מרכזי בהנחיית פרויקטי תוכנה בתיכון, היות ובתהליך הנחיית פרויקטים המורים נדרשים ללמד ידע תוכני המיושם כפרוייקט. היות ובדרך כלל מספר הפרוייקטים אותם מנחים מורים בעת ובעונה אחת הוא רב כשכל תלמיד/ה מפתחת פרויקט בנושא אחר, על המורים לענות לעיתים על שאלות שאינן ידועות מראש, להיות מודעים לקשיים ולסיבותיהם ולפתח אסטרטגיות הוראה ופיקוח על תהליך הפיתוח. לפיכך, ההתאמות הנדרשות לביצוע ע"י המורה הן לעיתים תלויות בפרדיגמה התכנותית ובמאפייני התלמידים ו/או הכיתה. וכך, המורה/מנחה נדרשת להתאים את תהליך ההנחיה לרמת התלמידים ולארגן את תהליך ההוראה וההנחיה בהתאם. סעיף 4.1 מציג את קשיי המורים בתהליך ההנחיה על-פי המסגרת הנ"ל של שולמן.

### 3.2 קונסטרוקטיוניזם

Papert (1991) הרחיב את התיאוריה הקונסטרוקטיוניסטית והוסיף לבנייה המנטלית בראש הלומדים מרכיב של בנייה מוחשית-חיצונית. את התיאוריה המורחבת כינה פפרט בשם "קונסטרוקטיוניזם". על-פי פפרט (1991), המושג כולל את התפיסה הקונסטרוקטיוניסטית, שמקורה מיוחס לפיאז'ה ומשמעותה בניית ידע במוח הלומדים, ואת המושג construction - בנייה. על-פי התפיסה הקונסטרוקטיוניסטית, בניית ידע מתרחשת תוך כדי פעילות בניה רלוונטית, מוחשית, אישית ומשמעותית; כלומר, **למידה תוך בניה**. התוספת של פפרט מדגישה את תהליך הבנייה המוחשי כתומך בתהליך הבנייה המנטלי בראש הלומדים, כאשר הלומדים עוסקים ביצירה של עצם בעל משמעות לעצמם או לסובבים אותם (Papert, 1991; 1993). לדברי פפרט, התוצר יכול להיות מסוגים שונים כמו למשל, ארמון חול, סיפור, שיר, מכונה מאבני לגו, תוכנית בשפת מחשב, או תיאוריה על תולדות היקום.

### 3.4 הקשר בין מקורות ה- ACMM

כאמור, ה- ACMM – Agile Constructionist Mentoring Methodology (מתודולוגית הנחיה אגילית קונסטרקשיוניסטית) שנבנתה כחלק מהמחקר המתואר במאמר זה, מבוססת על שלושה מקורות ידע: מודל בסיס הידע של שולמן, קונסטרקשיוניזם ופיתוח תוכנה אגילי. בבסיס המתודולוגיה נמצאת XP - Extreme Programming (Beck & Andres, 2005), אחת ממתודולוגיות הפיתוח האגיליות. XP נבחרה למטרה זו משתי סיבות. ראשית, XP מבוססת על קבוצת מיומנויות (practices) מוגדרות היטב שישומן בסביבה הבית ספרית יכול להיבדק עבור כל מיומנות בנפרד. שנית, XP מבוססת על חמישה ערכים: תקשורת בינאישית (communication), משוב (feedback), פשטות (simplicity), אומץ (courage) וכבוד (respect) אשר ממומשים על-ידי מיומנויותיה. ניתוח שערכנו מראה כי ערכים אלו משותפים גם לשני מקורות הידע הנוספים של ה- ACMM - מודל בסיס הידע של שולמן וקונסטרקשיוניזם (ראו לעיל). על כן, ביסוס ה- ACMM על קבוצת ערכים זו, מאפשר את יצירתה של מתודולוגיה המבוססת על מערכת ערכים שחשיבותה לסביבה החינוכית ברורה. באופן טבעי עולה השאלה: מדוע לא ניתן לאמץ את XP כפי שהיא לסביבה הבית ספרית ויש לבססה על מקורות ידע נוספים? התשובה לכך נעוצה בעובדה שהמתודולוגיה האגילית XP מתמקדת במיומנויות פיתוח ולא במיומנויות הנחיה. שני מקורות הידע הנוספים: **תיאורית ההוראה** – מודל בסיס הידע של שולמן ו**תיאורית הלמידה** – קונסטרקשיוניזם, מאפשרים לשנות את מיקוד המתודולוגיה: ממיקוד במיומנויות פיתוח למיקוד במיומנויות הנחיה פיתוח (ראו איור 1 בעמוד הבא).



### טבלה 1: מנשר התפיסה האגילית

(<http://www.agilemanifesto.org>)

אנו מגלים דרכים טובות יותר לפיתוח תוכנה ע"י הפעלתן וע"י תמיכה באחרים בהפעלתן. במהלך עבודה זו למדנו להעריך:

**אנשים ותקשורת ביניהם על פני תהליכים וכלים;**

**תוכנה עובדת על פני תיעוד נרחב;**

**שיתוף הלקוחות על פני משא ומתן חוזי;**

**תגובה לשינוי על פני מעקב אחרי תוכנית עבודה.**

יחד עם זאת, למרות שגם הפריטים משמאל הם בעלי ערך, אנו מעריכים יותר את הפריטים מימין.

הגישה האגילית מיושמת ע"י מספר מתודולוגיות שהנפוצות שבהן הן: XP - Extreme Programming, Scrum ו-Crystal. למרות שעד כה נצבר ניסיון של כעשר שנים בלבד בפיתוח תוכנה אגילי, גישה זו מיושמת ע"י כ- 20% מחברות התוכנה בצפון אמריקה ובאירופה<sup>2</sup>. הנתונים מדווחים כי פרויקטי תוכנה אגילים מתמודדים בהצלחה עם בעיות אופייניות של פרויקטי תוכנה. לדוגמא, בהסתמך על סקר מקיף על פיתוח תוכנה אגילי<sup>3</sup> שנערך על ידי VersionOne ו-The Agile Alliance ב- 2007, 60% מהמגיבים העריכו שפיתוח אגילי מביא לשיפור של כ- 25% או יותר בזמן אספקת המוצר, 55% דווחו על שיפור של כ- 25% או יותר בתפוקה ו-55% דווחו על ירידה של כ- 25% או יותר בתקלות תוכנה (באגים).

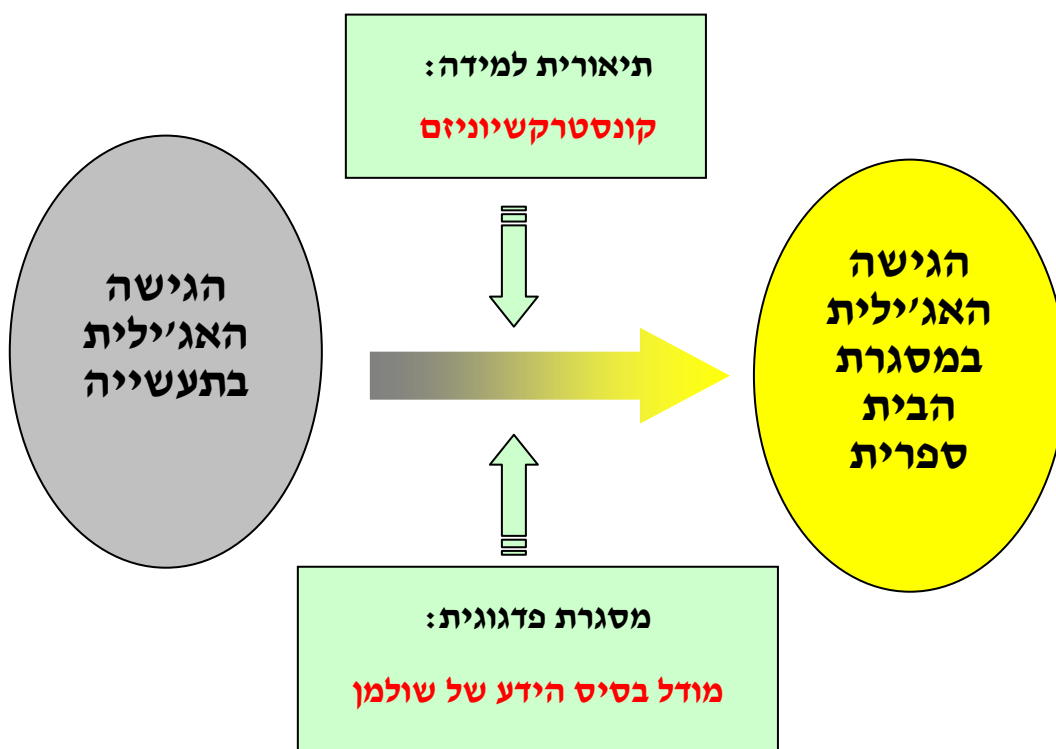
2. מקור:

[http://www.versionone.com/pdf/AgileMyths\\_BetterSoftware.pdf](http://www.versionone.com/pdf/AgileMyths_BetterSoftware.pdf)

3. Agile Development: Results Delivered:

[http://www.versionone.net/pdf/AgileDevelopment\\_ResultsDelivered.pdf](http://www.versionone.net/pdf/AgileDevelopment_ResultsDelivered.pdf)

איור 1. התאמת מתודולוגית פיתוח תוכנה מהתעשייה לסביבה הבית ספרית



#### 4. ממצאי המחקר

מורים למדעי המחשב תופסים את תהליך הנחיתם של פרויקטים רבים בו זמנית כמשימה מורכבת בהשוואה להוראה מסורתית בכיתה. קשיי המורים בתהליך ההנחיה סווגו לארבעת הקטגוריות הבאות שצמחו מהשדה: עמידה בלוח זמנים, הידע התוכני הנדרש, עבודה עצמית של התלמידים והערכת הפרויקטים. קשיים אלה נותחו על פי מודל בסיס הידע של שולמן (1987). טבלה 2, המסכמת אילו סוגי ידע באו לידי ביטוי בהקשר לכל קטגוריה שצמחה מהשדה, משקפת את מורכבותו של תהליך ההנחיה של פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון. מטבלה 2 ניתן ללמוד גם כי קשיי המורים כרוכים בעיקר בשלושת סוגי הידע הבאים: ידע תוכני (content knowledge), ידע פדגוגי תוכני (pedagogical content knowledge), וידע על הלומדים ומאפייניהם (knowledge of learners and their characteristics). ניתן להסביר הבחנה זו באמצעות העובדה ששלושה סוגי ידע אלה באים לידי ביטוי באופן משמעותי בתהליך פיתוחם של פרויקטי תוכנה בתיכון.

המחקר התבצע בשלושה שלבים, כך שכל שלב התבסס על השלב הקודם לו. השלב הראשון הוקדש לזיהוי קשיים של מורים בתהליך הנחית פיתוח פרויקטי תוכנה; בשלב השני נבנתה ה-ACMM - מתודולוגית ההנחיה; בשלב השלישי הוערכה המתודולוגיה. להלן ממצאי המחקר על פי שלושת שלביו.

#### 4.1 קשיי מורים בתהליך הנחית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון

קשיי המורים בתהליך הנחית פיתוח פרויקטי תוכנה נותחו על פי מודל בסיס הידע של שולמן ומתוארים במאמר Meerbaum-Salant and Hazzan, in press. מניית הנתונים עלה כי בהתאם למטרותיהן של סביבות למידה מבוססות פרויקטים (PBL), גם מורי מדעי המחשב מאמינים כי תהליך פיתוחם של פרויקטי תוכנה תורם באופן משמעותי להבנת התכנים על-ידי התלמידים, וכי תלמידי מדעי המחשב מסוגלים להתמודד עם האתגרים הכרוכים בכך. יחד עם זאת,

טבלה 2. קשיי המורים בתהליך הנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה על-פי מודל בסיס הידע של שולמן

		תפיסות המורים			
		ניהול לוח זמנים	הידע התוכני הנדרש	עבודה עצמית של תלמיד	הערכת פרויקטים
מרכיבי מודל בסיס הידע של מורים על-פי שולמן	ידע תוכני	+	+	+	+
	ידע של עקרונות פדגוגיים כלליים	+			
	ידע קוריקולרי		+		+
	ידע פדגוגי תוכני	+	+	+	+
	ידע על הלומדים ומאפייניהם	+	+	+	+
	ידע של הקשרים חינוכיים		+		
	ידע של מטרות חינוך			+	+

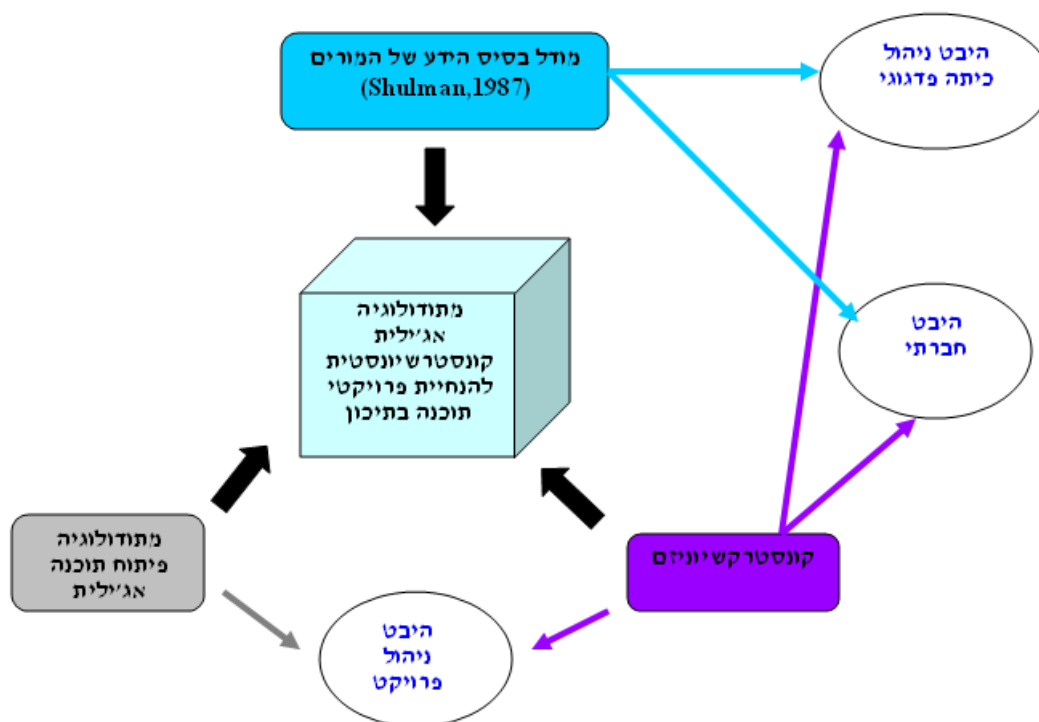
**4.2 מתודולוגית הנחיה אג'ילית קונסטרוקטיוניסטית  
Agile Constructionist Mentoring Methodology**

בחירת מקורות הידע שיהוו את בסיס מתודולוגית ההנחיה – הגישה האג'ילית לפיתוח תוכנה, מודל בסיס הידע של שולמן וקונסטרוקטיוניזם – התבססה על תוצאות השלב הראשון של המחקר שבו זוהו קשיי המורים בתהליך ההנחיה (ראו סעיף 4.1). כמו-כן, ניתוח שערכנו מצביע על כך כי שלושה מקורות ידע אלו חולקים את 5 הערכים עליהם מבוססת XP (Beck & Andres 2005) – תקשורת בינאישית (communication), פשטות (simplicity), משוב (feedback), אומץ (courage) וכבוד (respect). על מנת להשיג את מטרותיה של ה-ACMM, ערכים אלו מיושמים על-ידי מיומנויות שסווגו לשלושה היבטים: היבט ניהול כיתה פדגוגי, היבט חברתי והיבט ניהול פרויקט. הצורך בשלושת היבטים אלה נבע מייחודיותו של תהליך הנחיית פרויקטי תוכנה בתיכון שהיבטים אלו באים בו לידי ביטוי. הדרך שבה מקורות הידע משליכים על שלושת היבטים של ה-ACMM מתוארת באיור 2. הקשר בין מקורות הידע, ההיבטים, הערכים והמיומנויות של ה-ACMM נובע מביסוס שלושת ההיבטים על שלושה מקורות הידע החולקים חמישה ערכים, כשמיומנויות המתודולוגיה מיישמות ערכים אלה.

מטרת ה-ACMM – מתודולוגיית ההנחיה שנבנתה במחקר – היא לענות על צרכי המורים בתהליך פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון ולספק את הכלים הדרושים להתמודדות עם הקשיים השונים המתעוררים במהלך תהליך ההנחיה. תהליך בנייתה של ה-ACMM התבסס על התאמת הגישה האג'ילית למסגרת הבית ספרית. בפרט, כפי שצוין לעיל, XP, אחת מהמתודולוגיות האג'יליות, נבחרה לשמש כתבנית למתודולוגיה הדרושה היות והיא מבוססת על מיומנויות וערכים שאת התאמתם למסגרת הבית ספרית ניתן לבדוק אחד לאחד. למרות זאת, וכפי שכבר צוין לעיל, מאחר ש-XP ממוקדת **פיתוח תוכנה** ולא **הנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה**, להתאמתה למסגרת הבית ספרית תרמו גם תיאורית הוראה - מודל בסיס הידע של שולמן - ותיאורית למידה - קונסטרוקטיוניזם. לפיכך, וברוח הגישה האג'ילית, ה-ACMM:

- א. מבוססת על מיומנויות, המאפשרות הנחיה בו זמנית של פרויקטים רבים בנושאים מגוונים, גמישות, ומנגנוני שינוי והתאמה למצבי הוראה שונים;
- ב. אינה מוגבלת לשפת תכנות, פרדיגמה תכנותית, רמת תלמידים, תוכנית הלימודים או תוכן נלמד מסוימים.

איור 2. הקשר בין מקורת הידע של ה- ACMM לשלושת היבטיה



טבלה 3 מציגה את סווג מיומנויות ה- ACMM לשלושת היבטיה. טבלה 4 מתארת את כל אחת מהמיומנויות.

טבלה 3. סווג מיומנויות ה- ACMM על-פי שלושת היבטיה

היבט ניהול כיתה פדגוגי	היבט חברתי	היבט ניהול פרויקט
בניית תשתית	עזרה הדדית ושיתוף קוד	כתיבת סיפור פרויקט
הדגמת פרויקטים	הערכת עמיתים	ניתוח
הוראת תכנים		תכן
הנחיה אישית		תכנות
הנחיה נושאת קבוצתית		בדיקות
הערכה מעצבת		תיעוד
הערכה מסכמת		שיפור הקוד
		משוב אישי

טבלה 4. מיומנויות ה- ACMM

תיאור	פעילות
<b>היבט ניהול כיתה פדגוגי</b>	
המורה בונה תשתית פדגוגית שבה, בשיתוף עם הכתה, נבנה חוזה דידקטי בין המורה לתלמידים הכולל כללי התנהגות, נהלים וחוקים אותם יש לקיים בתהליך הפיתוח. חוקים אלה אמורים לשקף את ערכי ה- ACMM.	בניית תשתית
במהלך תהליך הפיתוח, המורה מציגה חלקים מפרויקטים שפותחו בעבר ע"י תלמידים על מנת להדגיש נושאים שעל התלמידים להתחשב בהם במהלך תהליך הפיתוח.	הדגמת פרויקטים

הוראת תכנים	הוראת התכנים הנדרשים עבור יישום הפרויקט.
הנחיה אישית	המורה מנחה את התלמידים באופן אישי על מנת לעזור לכל תלמיד/ה להתמודד באופן אישי ולהתקדם בתהליך הפיתוח.
הנחיה נושאית קבוצתית	פעילות הנחיה זו מתייחסת לקבוצת תלמידים בעלי נושאי פרויקטים דומים היכולים ללמוד אחד מהשני. פגישות הנחיה אלו יכולות לכלול הן הסברים שניתנים ע"י המורה והן הסברים הניתנים ע"י התלמידים עצמם המתמודדים עם אתגרים וקשיים דומים.
הערכה מעצבת	הערכה זו ניתנת לתלמידים ע"י המורה במהלך כל תהליך הפיתוח והיא מהווה הערכה לשם למידה.
הערכה מסכמת	המורה מבצעת/ת הערכה מסכמת מספר פעמים לאורך השנה, על מנת לבדוק ולבקר את קצב התקדמות הכיתה.
<b>היבט חברתי</b>	
עזרה הדדית ושיתוף קוד	התלמידים נדרשים לעזור אחד לשני. עזרה זו יכולה לבוא לידי ביטוי הן בקוד והן בשיתוף ידע ורעיונות.
הערכת עמיתים	התלמידים מחולקים לקבוצות ומעריכים את תוצרי הפרויקטים של חברי הקבוצה.
<b>היבט ניהול פרויקט</b>	
כתיבת סיפור פרויקט	כל תלמיד/ה כותב/ת סיפור המתאר את מסגרת הפרויקט, מטרותיו והפעילויות שהתוכנה תבצע. התלמידים מקבלים משוב מעמיתיהם לכיתה ומהמורה. הסיפור מסייע למורה להעריך האם תכולת הפרויקט ודרישותיו מתאימות ליכולות התלמידים וכן את זמן הפיתוח.
ניתוח	כל תלמיד/ה מנתח/ת את מבנה הפרויקט ואת חלוקתו למודולים.
תכן	כל תלמיד/ה מתכנן/ת את מרכיבי הפרויקט וקובע את התשתיות הנדרשות לביצועו.
תכנות	התלמידים מתכנתים את הפרויקט בשלבים. בכל שלב, התלמידים מחליטים תחילה כיצד הקוד שייכתב ייבדק, תוך התחשבות בבעיות שעשויות להתעורר במהלך כתיבת הקוד. לאחר מכן, התלמידים כותבים את הקוד הנדרש ובודקים אותו. בכל שלב מתבצעת אינטגרציה עם הקוד החדש שנכתב. כך, בכל שלב, בידי התלמידים תוצר עובד שניתן להצגה. פעילות זו מאפשרת לתלמידים להתמודד עם בעיות כבר בשלב מוקדם של תהליך הפיתוח ולפתח תוכנה העומדת בדרישות.
בדיקות	הבדיקות מתבצעות בשני שלבים: א. לפני כתיבת קוד, התלמידים מכינים רשימת בדיקות הכוללת את כל הבעיות שבהן הם עלולים להיתקל. ב. בסיום פיתוחה של כל פיסת קוד, הקוד נבדק ע"י התלמידים וע"י המורה. כמו-כן נבדקת האינטגרציה עם הקוד הקיים.
תיעוד	התלמידים מתעדים את שלבי הפיתוח וכן את מרכיבי הפרויקט העיקריים. מטרת התיעוד היא לשקף את הרעיון המרכזי של הפרויקט ואת שלבי הפיתוח המרכזיים.
שיפור הקוד	שיפור קוד (refactoring) מתייחס לשיפור צורת הקוד ללא הוספת פונקציונליות. היות והתלמידים מפתחים את פרויקטיהם בשלבים, מיומנות זו משפרת את הבנתם את מבנה הקוד לאורך כל תהליך הפיתוח.
משוב אישי	כל תלמיד/ה מבצע/ת משוב על הפרויקט האישי ועל עמידה בל"ז שנקבע לכיתה ע"י המורה.



טבלה 5. הדגמת יישום שנתי של ה- ACMM

לוח	פעילויות	אוגוסט	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	יוני
היבט ניהול כיתה פדגוגיות	בניית תשתית	✓	✓									
	הדגמת פרויקטים		✓					✓		✓	✓	
	הוראת תכנים		✓	✓	✓	✓						
	הנחיה אישית				✓		✓		✓		✓	
	הנחיה נושאית קבוצתית			✓		✓				✓		✓
	הערכה מעצבת		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	הערכה מסכמת				✓		✓			✓		✓
היבט חברתי	עזרה הדדית ושיתוף קוד		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	הערכת עמיתים				✓			✓		✓		✓
היבט ניהול פרויקט	כתיבת סיפור פרויקט		✓									
	ניתוח			✓	✓							
	תכנון					✓						
	תכנות						✓	✓	✓	✓		
	בדיקות						✓	✓	✓	✓	✓	
	תיעוד						✓	✓	✓	✓	✓	
	שיפור הקוד						✓	✓	✓	✓	✓	✓
	משוב אישי		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		אוגוסט	ספטמבר	אוקטובר	נובמבר	דצמבר	ינואר	פברואר	מרץ	אפריל	מאי	יוני

ניתן להסתכל על תהליך הערכה זה כעל "הוכחה מתמטית". מנקודת מבט זו, הבעיה הייתה עיצוב מתודולוגית הנחיה שתיתן מענה לדרישות מסוימות. לאחר שהמתודולוגיה – ה- ACMM – נבנתה, הערכתה (המוצגת להלן) "מוכיחה" כי היא עונה על הדרישות שעברון היא נבנתה. במילים אחרות, מנקודת מבט זו, הערכת ה- ACMM "מוכיחה" כי היא מקיימת את כל דרישות הבעיה. ברוח זו, הערכת המתודולוגיה מוצגת בטבלה 6 ממנה ניתן ללמוד כי: א. כל קושי בו נתקלים מורים בתהליך ההנחיה מקבל מענה ע"י מיומנות מסוימת, וכי ב. לכל אחת מיומנויותיה של ה- ACMM תפקיד במענה על קשיי המורים בתהליך ההנחיה.



למרות הפרוט הנ"ל של המתודולוגיה, על מנת ליישמה אין די בהצגת מקורות הידע, ההיבטים, הערכים, ומיומנויות של ה- ACMM; נדרש גם ניהול לוח זמנים מתאים. טבלה 5 מציגה דרך אחת אפשרית ליישום ה- ACMM הכוללת פרקי זמן ליישום כל אחת ממיומנויות ההנחיה. טבלה 5 מדגימה לוח זמנים לפרויקטים מסוג מסוים המפותחים במהלך שנה אקדמית אחת. באופן דומה, ניתן לבנות לוח זמנים עבור מגוון מצבים בהם מתקיימת הנחיית פרויקטי תוכנה.

**4.3 הערכת ה- ACMM**

בסעיף זה נתאר כיצד כל קושי שזוהה בשלב הראשון של המחקר (סעיף 4.1) קיבל מענה לפחות על-ידי אחת ממיומנויות ה- ACMM, וכי כל אחת ממיומנויות ה- ACMM מסייעת להתמודדות לפחות עם קושי אחד.



טבלה 6. הערכת ה- ACMM

ניהול לוח זמנים	ידע תוכני נדרש	עבודה עצמית של התלמידים	הערכת הפרויקט	
• בניית תשתית	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הדגמת פרויקטים</li> <li>• הוראת תכנים</li> <li>• הנחיה נושאת קבוצתית</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הנחיה אישית</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• הערכה מעצבת</li> <li>• הערכה מסכמת</li> </ul>	<b>היבט ניהול כיתה פדגוגי</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• עזרה הדדית ושיתוף קוד</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• הערכת עמיתים</li> </ul>	<b>היבט חברתי</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• כתיבת סיפור הפרויקט</li> <li>• ניתוח</li> <li>• תכן</li> <li>• תכנות</li> <li>• בדיקות</li> <li>• תיעוד</li> <li>• שיפור הקוד</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• משוב אישי</li> </ul>	<b>היבט ניהול פרויקט</b>

**5. סיכום ומסקנות**

פיתוח פרויקטי תוכנה. חשוב לציין כי ה- ACMM אינה מוגבלת לשפת תכנות או פרדיגמה מסוימת, לרמת תלמידים או לתוכנית לימודים מסוימת, וניתן להתאימה לכל מצב של למידה באמצעות פרויקטים (PBL) בהם התלמידים מפתחים פרויקטי תוכנה.

הערכת ה- ACMM שהתבצעה בשלב השלישי של המחקר מדגימה כיצד ניתן להתאים מתודולוגית פיתוח מהתעשייה לסביבה הבית ספרית, תוך התחשבות בהיבטים קוגניטיביים ופדגוגיים.

לסיכום, מאמר זה מתאר כיצד מתודולוגיית ההנחיה – ה- ACMM – עשויה להנחות מורים בתהליך ההנחיה בהציעה:

(א) תשובות לשלוש השאלות הבאות: מה עליי (המורה) לבצע בתהליך ההנחיה? מתי עלי לבצע זאת? וכיצד עלי לבצע זאת?

(ב) מערך הנחיה שנתי להנחיית כל נושא ללא תלות בשפת תכנות, פרדיגמה תכנותית וסביבת פיתוח.

וכך, המחקר תורם לגוף הידע העוסק בהוראה מבוססת פרויקטים בכלל ולגוף הידע העוסק בהנחיית פרויקטי תוכנה בתיכון בפרט.

המחקר המתואר במאמר עוסק בתהליך הנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון. כפי שמתואר בסעיף 4.1, מודל בסיס הידע של שולמן עזר באפיון קשיי המורים בתהליך ההנחיה ע"י הצגת ארבע קטגוריות שצמחו מהשדה: ניהול לוח זמנים, הידע התוכני הנדרש, עבודה עצמית של התלמיד והערכת הפרויקט. קשיים אלו באו לידי ביטוי בעיקר בהקשר למקורות הידע הבאים: ידע תוכני, ידע פדגוגי-תוכני וידע על הלומדים ומאפייניהם. משלב זה של המחקר ניתן היה ללמוד על מורכבותו של תהליך ההנחיה של פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון המשלב סוגי ידע שונים, פעילויות ניהול שונות והיבטים פדגוגיים. לאורם של ממצאים אלה נראה היה כי מתודולוגיית ההנחיה מתאימה עשויה לתרום לביצועה של משימה מורכבת זו, בדומה למתודולוגיות פיתוח פרויקטי תוכנה בתעשייה.

לפיכך, מתודולוגיית ההנחיה – ACMM – מתודולוגיית הנחיה אגילית קונסטרוקטיבית – שנבנתה בשלב השני של המחקר, מגדירה קווים מנחים ברורים להנחיית פיתוח פרויקטי תוכנה בתיכון. היא מבוססת על ניתוח קשיי המורים, על תיאוריות פדגוגיות וקוגניטיביות ועל הידע שנצבר בתעשייה בהקשר לניהול

## 6. מקורות

Papert, S. (1991). Situating Constructionism. In Harel, L. and Papert, S. (Eds). *Constructionism*, Ablex Publishing Corporation, pp. 1-12.

Papert, S. (1993). *The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer*, New York: Basic Books.

Seungyeon H. and Kakali B. (2007). Constructionism, Learning by Design, and Project Based Learning. Available on line at: [http://projects.coe.uga.edu/epltt/index.php?title=Constructionism%2C\\_Learning\\_by\\_Design%2C\\_and\\_Project\\_Based\\_Learning](http://projects.coe.uga.edu/epltt/index.php?title=Constructionism%2C_Learning_by_Design%2C_and_Project_Based_Learning)

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform, *Harvard Educational Review* 57(1), pp. 1-22.

Tomayko, J. E. and Hazzan, O. (2004). *Human Aspects of Software Engineering*, Charles River Media.

Beck, K. (with Andres, C., 2005, second edition). *Extreme Programming Explained: Embrace Change*, Addison-Wesley.

Brooks, F.P. (1987). No silver bullet - Essence and accidents of software engineering, *Computer* 20(4), pp. 10-19.

Fowler, M. (2005). The New Methodology, available on-line at: <http://martinfowler.com/articles/newMethodology.html>

Hamlet, D. and Maybee, J. (2001). *The Engineering of Software*, Addison-Wesley.

Highsmith, J. (2002). *Agile Software Development Ecosystems*, Addison-Wesley.

Meerbaum-Salant, O. and Hazzan, O. (in press). Challenges in mentoring software development projects in the high school: Analysis according to Shulman's teacher knowledge base model, *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*.



ביקור במוזיאון המדע במסגרת סמינר קיץ תשס"ח

