

אי-הבנה של תלמידים ומה אפשר ללמוד ממנה

איכשהו, תלמידים קשובים, מוכשרים ומלאי כוונות טובות מצליחים ללמוד מאיתנו שיעורים שמעולם לא התכוננו שילמדו. על מה אנחנו מתלוננים כשאנחנו אומרים על תלמידים ש"הם יודעים את כל העובדות אבל מחברים אותן בצורה שגויה", או ש"הם פשוט לא חושבים על מה שהם אומרים"? ספרו של סאלינגר **התפסן בשדה השיפון** הוא דייר של קבע בשיעורי ספרות בתיכונים אמריקאיים, ובכל זאת תלמידים רבים מסיימים את לימודיהם במחשבה שהספר עוסק ב"הרפתקה המגניבה" של הולדן קולפילד, בימיו העליזים של תלמיד המברז מלימודיו בתיכון פרטי. איכשהו, העובדה שהולדן שרוי במצוקה רגשית גדולה – ושהוא מספר את סיפורו ממיטתו בבית חולים פסיכיאטרי – נעלמת מעיני תלמידים רבים. באותו האופן, תלמידים רבים בבית הספר היסודי מתקשים מאוד בהכפלת שברים, כיוון שנראה להם מוזר שהתשובות המתקבלות קטנות מן המספרים שאיתם התחילו. או חשבו על האתגר הגדול הטמון בקריאת אנגלית: פענוח פשוט אינו פשוט כל כך. אנחנו מבטאים את המילה lose ["לוז"] כמו loze ["לוז"] והמורה אומר לנו שטעינו. אבל חשבנו שהבנו את הכלל! למה ההגייה של lose אינה תואמת את הכלל המוכר על מילים המסתיימות בעיצור שאחריו e (כמו close, doze או home)?

אי-הבנה אפוא אינה אי-ידיעה. מדובר במיפוי של רעיון מתגבש לגבי מצב חדש, בדרך שהיא אפשרית אבל לא נכונה. הנה כמה דוגמאות:

- אחד מילדינו שאל: "אבא, ספרדית ואנגלית משתמשות באותן מילים, אבל רק מבטאות אותן אחרת?"
- אותו ילד התלונן כעבור כמה שנים, "איך יכול להיות ש-4.28 ועוד 2.72 שווה 7? הרי 7 הוא לא שבר עשרוני!"
- תלמידת תיכון שאלה בשקט את מורתה להיסטוריה בסופה של יחידת לימוד, "אז מה בעצם לואיזיאנה רכשה?"²
- מורה בבית ספר יסודי דיווחה שתלמידת כיתה ד' שלה חשה תסכול רב כשלא הצליחה לראות את קווי האורך והרוחב כשטסה עם הוריה ברחבי ארצות הברית.
- תלמיד מבריק ומשכיל מאוד, שכבר השלים כמה קורסים מתקדמים במדעים, חשב ש"שגיאה" במדעים היא פונקציה של טעויות שאפשר להימנע מהן, ולא עיקרון הגלום בעצם טבעה של שיטת האינדוקציה.

באופן פרדוקסלי, כדי להיקלע לאי-הבנה דרושים ידע ויכולת העברה.

ראיות לאי-הבנה הן חשובות להפליא למורים, ואינן סתם טעויות שיש לתקן. הן מעידות על ניסיון סביר אבל לא מוצלח להעברה. האתגר הוא לגמול על הניסיון מבלי לחזק את הטעות ומבלי לדכא ניסיונות העברה נוספים בעתיד. אבל בפועל, מורים רבים לא רק שאינם רואים את ערכו של המשוב בהקשר של אי-

² [בעסקה הקרויה "רכישת לואיזיאנה", ארצות הברית קנתה מצרפת בשנת 1803 שטחים שנקראו אז "לואיזיאנה הצרפתית" (ושהיו מחולקים בין 15 ממדינות ארצות הברית). באנגלית כמו בעברית, הביטוי "רכישת לואיזיאנה" עשוי להתפרש כרכישה שבוצעה בידי לואיזיאנה – כאשר המפרש הוא תלמיד שלא הבין את החומר.]

הבנות של תלמידים, אלא חשים מאוימים משום מה או מתרגזים בעטיין. מורה שמאבד סבלנות עם תלמיד שאינו "קולט" את השיעור לוקה, למרבה האירוניה, באי-הבנה – שוב עיוורון המומחים. כי כאשר תלמידים קשובים אינם "קולטים", הרי הלקח המתבקש הוא שמה שחשבנו שהוא ברור, בעצם לא היה ברור. על כן, יש מורים שאי-הבנות מתמשכות אצל תלמידים מאיימות עליהם, כי הן מעמידות כביכול בסימן שאלה את השיטות שלנו ואת היעדים המשתמעים שלנו. אלא שהמורה התמים עלול להחמיץ את העובדה שרעיונות גדולים מובנים מאליהם רק לעתים רחוקות. למעשה, לעתים קרובות מדובר ברעיונות שסותרים את השכל הישר, כפי שציינו בפרק 1. עצה ידידותית: אם אתם שומעים את עצמכם אומרים לכיתה, "אבל הרי זה מובן מאליו!" כנראה נפלתם במלכודת של עיוורון המומחים! הקדישו לכך מחשבה נוספת: הממם, מה כאן לא מובן מאליו לתלמידים? מה אני לוקח כמובן מאליו שקל לטעות בהבנתו? למה התלמידים הסיקו מה שהסיקו?

מה שמגביר את דחיפות העניין הוא שהמחקר בעשרים השנים האחרונות מאשר את עומקה ואת היקפה המפתיעים של התופעה. תלמידים רבים, ובהם הטובים והמתקדמים ביותר, יכולים להיראות כמי שמבינים את עבודתם (כמשתקף במבחנים ובדיונים בכיתה), אך מאוחר יותר מגלים אי-הבנות משמעותיות לגבי מה ש"למדו" כאשר מוצגות בפניהם שאלות המשך הבאות לחקור את הבנתם, או כאשר הם נדרשים ליישם את למידתם. אין זו דעתנו בלבד אלא גם דעתם של חוקרי קוגניציה מובילים, שכדי להשיג תוצאות טובות יותר חובה להתחקות אחר תפישות ותפישות שגויות של תלמידים, ולהביאן בחשבון בתכנון הלמידה (סיכום המחקר על הלמידה וההוראה להבנה מוצג בפרק 13). הווארד גרדנר, דייוויד פרקינס ועמיתיהם מהרווארד ב"פרויקט זירו" סיכמו את הממצאים הללו ברהיטות וביסודיות לאורך העשור האחרון, אף ששורשי המחקר על אי-הבנות מגיעים עד לעבודה שנעשתה בתחום החינוך למדעים כבר בשנות השבעים. כפי שהסביר גרדנר (1991) בסיכום המחקר,

[מה] שתועד עד כה בספרות מחקר מקפת הוא שמדרגת הבנה רגילה חסרה דרך קבע אצל תלמידים רבים, ואולי אצל רובם. מתקבל על הדעת לצפות מתלמידת מכללה שתוכל ליישם בהקשר חדש חוק פיזיקלי או הוכחה גיאומטרית או רעיון היסטורי שזה עתה הפגינה שליטה סבירה בהם בכיתה. אבל אם שינוי קל בנסיבות הבחינה גורם לכך שאי אפשר עוד לתעד את השליטה המבוקשת, כי אז פשוט אין לומר שהושגה "הבנה" – בכל מובן הגיוני של המונח (עמ' 6).

אפילו בחינה מן הסוג השגרתי יכולה לספק ראיות לכישלונות הבנה כאלה, אם הבחינות מתוכננות במחשבה על אי-הבנות. בהקדמה הבאנו כדוגמה את השאלה במתמטיקה שהופיעה במבחן של המוסד הפדרלי להערכת ההתקדמות בחינוך (NAEP), שבה מיעוט גדול של תלמידים השיב "31 [אוטובוסים] ושארית 12". חשבו על התוצאה הזו באופן כללי יותר. רוב בני-העשרה בארצות הברית מצליחים לעבור את קורס המבוא לאלגברה בתיכון. אבל תוצאות מבחן NAEP מ-1988 מראות שרק 5 אחוזים מקרב המתבגרים בארצות הברית משיגים תוצאות טובות במטלות הדורשות שימוש מסדר גבוה יותר בידע שרכשו בקורס המבוא לאלגברה. מבחן טימס (TIMSS – חקר מגמות בינלאומי במתמטיקה ובמדעים) מ-1998 הגיע למסקנה דומה בתחום המדעים באחד המחקרים המקיפים ביותר שהתקיימו עד כה (Trenton Times, 1997). וכך עלה גם ממבחן NAEP האחרון, שהראה "פעור חד בין יכולתם של כלל התלמידים ללמוד עקרונות בסיסיים, לבין יכולתם ליישם ידע או להסביר את מה שלמדו" (New York Times, 1997) (המבחן הורכב משילוב של שאלות רב-ברירות מובנות ומטלות ביצוע).

משך יותר מעשור פותחו מבחנים ייעודיים בפיזיקה ושימשו כהערכות לזיהוי אי-הבנות חשובות. המבחן הנפוץ ביותר, Force Concept Inventory, משמש כלי למדידת ההתקדמות – לפני ואחרי מבחנים – בהתגברות על התפישות השגויות השכיחות ביותר (והעיקשות להפליא).

האיגוד האמריקאי לקידום המדע במדריך נקודות הציון שלו (1993) וכן בספר *Atlas of Science Literacy* (אטלס האוריינות המדעית, 2001), תיאר בהרחבה הבנות רצויות במדעים, לצד אי-הבנות מרכזיות הנקשרות בהן:

כאשר יחסים מיוצגים בסמלים אפשר להחליף את כל הסמלים פרט לאחד במספרים, ולחשב את ערכו האפשרי של הסמל הנוטר. לפעמים אפשר לבטא את היחס בערך אחד, לפעמים ביותר מאחד, ולפעמים אף לא באחד.

• תלמידים מתקשים להבין את תפקידם ותפקודם של סמלים באלגברה. תכופות הם אינם מודעים לשרירותיות שבבחירת האותיות. קשיים אלה נמשכים גם אחרי סיום לימודי האלגברה ותחילת הלימודים במכללה.

תלמידים בני כל הגילאים טועים לעתים קרובות ובמקום לראות בסימן השוויון במשוואות אות לשקילות, מפרשים אותו כסימן שמזמין אותם להתחיל בחישוב – ואת הצד הימני במשוואה כאמור להראות את "הפתרון".

השוואת נתונים משתי קבוצות צריכה לכלול השוואה הן של המרכזים הן של פיזור הנתונים סביבם.

מרכזה של התפלגות נתונים עלול להטעות – כאשר הנתונים אינם מתפלגים סימטרית, או כאשר ישנם ערכי קיצון גבוהים או נמוכים, או כאשר עקומת ההתפלגות אינה חלקה באופן סביר.

• תלמידים בני כל הגילאים מתקשים לעתים להבין את רעיון הממוצע, גם אחרי שנים של לימוד פורמלי... מן המחקר עולה שתפישה טובה של "ייצוגיות" עשויה להיות תנאי קדם לתפישת הגדרות של ממוצע, חציון ושכיח... הצגה מוקדמת מדי של האלגוריתם לחישוב הממוצע, במנותק מהקשר משמעותי, עלולה למנוע מתלמידים להבין מהם ממוצעים (AAAS, 2001, pp. 122–123).

כדי לראות עד כמה קל להיקלע לאי-הבנה של דברים שנדמה כי כולנו יודעים, קחו לדוגמה את שאלת המדעים הבסיסית הבאה: מדוע קר יותר בחורף וחס יותר בקיץ? כמעט כל תלמיד בארצות הברית למד אסטרונומיה בסיסית. אנחנו "יודעים" שכדור הארץ נע סביב השמש, שמסלולו אליפטי, ושכדור הארץ נוטה בזווית של 20 מעלות לערך ביחס לציר צפון-דרום שלו. אבל כאשר הוצגה השאלה לסטודנטים בהרווארד בשנת לימודיהם האחרונה (כפי שתועד בסרטון על תופעת האי-הבנה שהפיק המרכז לאסטרופיזיקה של הרווארד והסמיתסוניאן), מעטים ידעו להשיב נכונה (Schneps, 1994).³ חלקם לא יכלו להסביר כראוי או לא יכלו להסביר כלל את מה שטענו שהם יודעים, ואחרים ענו תשובה מקובלת אך שגויה (למשל ששינויי מזג האוויר נובעים מן העובדה שכדור הארץ מתקרב אל השמש או מתרחק ממנה).

³ מידע על פרויקט החינוך למדעים זמין כאן: Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, 60 Garden Street, Cambridge, MA 02138, <http://cfa-www.harvard.edu/>.

ממצאים דומים מתקבלים כאשר מבקשים ממבוגרים להסביר את מופעי הירח: אנשים משכיילים רבים מתארים אותם כליקויי ירח. בסדרת סרטוני המשך על אי-הבנות במדעים שכותרתה *Minds of Our Own*, קבוצת האסטרופיזיקה מהרווארד תיעדה כיצד סטודנטים לפיזיקה שמוסגלים לפתור בעיות במעגלים חשמליים מן הסוג שנותרים לתלמידי כיתה ד', וגם לתאר את המתרחש בהן, לוקים בהבנה כאשר השאלה מנוסחת בדרך חדשה (האם תוכל להדליק נורה בעזרת סוללה וחוט בלבד?).

ההכרה בקיומן של אי-הבנות בלתי-נמנעות של לומדים – אפילו המבריקים ביותר – בתחומי דעת פשוטים והגיוניים לכאורה כמו מדעים ומתמטיקה, היא למעשה עתיקה למדי. הדיאלוגים של אפלטון מתארים בצלילות את משחק הגומלין בין החתירה להבנה לבין הרגלי חשיבה ושגיאות תפישה שעלולים בלי משים לעצב או לעכב את חשיבתנו. פרנסיס בייקון (Bacon, 1620/1960) סיפק לפני 400 שנה, בחיבורו **הכלי החדש** (*Novum Organum*), תיאור פוקח עיניים של אי-הבנות הצומחות בלי ידיעתנו כפועל יוצא של נטיות המחשבה שלנו. הוא הסביר שאנחנו משליכים על "המציאות" שלנו קטגוריות, הנחות, כללים, סדרי עדיפות, עמדות והעדפות סגנוניות, ואז מפתחים אינספור דרכים "להוכיח" את אמיתות הרעיונות האינסטינקטיביים שלנו. "ההבנה האנושית... משאימצה לה עמדה, אוספת מן הגורן ומן היקב את כל מה שיתמוך בה ויתיישב עמה" (עמ' 45–49). פילוסופים ופסיכולוגים מקאנט וויטגנשטיין ועד פיאז'ה וחוקרי קוגניציה בני-ימינו ניסו לפתור את תעלומת האי-הבנה העיקשת והשכנוע התמים שנלווה אליה בדרך כלל – כמו גם לבאר את טיב ההערכה העצמית והמשמעת העצמית הדרושות כדי לגבור על זו ועל זה.

הלכה למעשה, מוטל עלינו להתחיל לתכנן הערכות מתוך הכרה בצורך לקבוע נקודות ייחוס מושגיות ולא רק יכולות ביצוע. עלינו לתכנן הערכות מתוך תשומת לב לא רק לרעיונות הגדולים אלא גם לאפשרות הסבירה שהרעיונות יוכנו שלא כהלכה – וגם ימאנו לבוא על תיקונם, כמו בדוגמה הבאה בתחום הביולוגיה, המובאת אצל שולמן (1999):

מורים לביולוגיה נאלצים להיאבק בעמידותן של תפישות שגויות אצל תלמידים לגבי האבולוציה והברירה הטבעית. רוב התלמידים בקורסים המדגשים את האבולוציה והברירה הטבעית נכנסים לשיעורים כלא־מא־אֶרְקִיאֶנִים אינטואיטיביים. הם משוכנעים שכל תכונה שרוכש דור אחד עוברת לדור הבא. ההוראה הפורמלית מדגישה את ההפרכה הדרוויניאנית של עמדה זו. תלמידים אלה עשויים לקבל ציונים גבוהים בשיעור, לאחר שיראו שכעת הם מבינים את נקודת המבט הדרוויניאנית; אבל אם תבחנו אותם כעבור שלושה חודשים, תגלו ששבו והתמסרו לאינטואיציות הלא־מא־אֶרְקִיאֶנִיות שלהם – כמו רבים מאיתנו. אני משער שצורות של פנטזיה מאפיינות גם תלמידים ובוגרים של השכלה גבוהה יותר, ורבות מהפנטזיות האלה אורבות בסתר במשך שנים לפני שהן באות לביטוי ברגעים מכריעים (עמ' 12).

הנה דוגמאות אחדות לאי-הבנות שכיחות של רעיונות חשובים, והבנות המשקפות את ההתגברות עליהן:

- אימפרסיוניזם הוא אמנות שבה הצייר מבטא רושם (*impression*) או רגש סובייקטיבי שהסצנה מעוררת בו. ההפך הוא הנכון: האימפרסיוניזם היה ניסיון לצייר סצנות באופן ריאליסטי דווקא ולא מופשט או רגשי. אימפרסיוניזם הוא מונח פילוסופי טכני המבחין בין רשמי החושים הישירים לבין הדעת ההופכת את הרשמים האלה לרעיונות.

- **מדי חודש ישנו ליקוי ירח שבו הירח אינו נראה.** מופעי הירח תלויים במיקומם היחסי של כדור הארץ, השמש והירח, כך שאנחנו רואים את אותו חלק בירח שהשמש מאירה. ליקויי ירח אינם סיבתם של מופעי הירח.
 - **המדע עוסק במציאת סיבות.** מדענים מוצאים מתאמים; הדיבור על "סיבות" נתפש כפילוסופי מדי ולא-מדעי. המדע המודרני, הכלכלה והרפואה מחפשים אחר דפוסים סטטיסטיים. לכן רופאים אינם יכולים תמיד להשיב לשאלה "מה גרם לזה?" גם כאשר הם רושמים תרופות אפקטיביות.
 - **כאשר כופלים שני מספרים זה בזה, התוצאה גדולה יותר.** כפל איננו חיבור בשרשרת מכפלת שברים מניבה תוצאה קטנה יותר וחלוקתם זה בזה – תוצאה גדולה יותר. כיצד זה ייתכן? תלמידים רואים לא פעם שברים ושברים עשרוניים כמערכות מספרים נפרדות; ההבנה מתבטאת בלמידה לראותם כאמצעים חלופיים לייצוג "אותן" כמיות.
 - **ההיסטוריה עוסקת בעובדות, במה שקרה.** ההיסטוריון הוא מספר סיפורים, ולא רק מקבץ ומוסר של עובדות. מדוע, אם כך, רק תלמידים מעטים כל כך תופשים שייתכנו – ושישנם – סיפורים שונים מאוד המספרים את אותה היסטוריה חשובה עצמה?
 - **צריך לקצר את כפות הידיים בזמן ששוחים כדי "לתפוס את המים" ולהתקדם מהר יותר.** ככל שגדל שטח הפנים כך גדל הכוח המופעל. לכן יש לשחות בכף יד פתוחה כדי להגדיל את כמות המים הנגרפים ונדחפים.
 - **אור הוא אור וחושך הוא חושך.** לא נכון. שתי אלומות אור המצטלבות בשיאים ובשפלים יכולות לבטל זו את זו ולגרום לחשכה! אוזניות מבטלות רעש משתמשות בצליל כדי לייצר דממה. גלי אור או קול הופכים יכולים אפוא לבטל זה את זה.
 - **מספרים שליליים ומדומים אינם אמיתיים.** מספרים שליליים ומדומים אינם אמיתיים יותר או פחות ממספרים גלילים. הם קיימים כדי ליצור את הסימטריה והרציפות הדרושות לחוקי האריתמטיקה והאלגברה הבסיסיים.
 - **האבולוציה היא רעיון שנוי במחלוקת.** לא. תיאוריית הברירה הטבעית כמנוע האבולוציה היא ששנויה במחלוקת. תיאוריות של אבולוציה הופיעו מאות שנים לפני דרווין ולא נתפשו כמי שעומדות בסתירה לעיקרי אמונה.
 - **האבות המייסדים של ארצות הברית היו ליברלים.** המהפכנים האמריקאיים סברו שליחידים, ולא לממשלות, יש זכויות טבעיות המיושמות באמצעות עבודה (על בסיס תפישות הקניין של ג'ון לוק). על כן, מבחינה מסוימת הם היו "שמרנים" (כלומר ראו בזכות לקניין פרטי זכות יסוד).
 - **אירוניה היא צירוף מקרים.** אירוניה אינה צירוף מקרים גרידא, אף על פי שאין כמעט שדרן ספורט שאינו משתמש במילה זו וטועה במשמעותה! אירוניה היא מה שרואה האדם הנבון אף שנעלם מעיני זולתו, שגם הוא נבון לכאורה. הקהל רואה את מה שאדיפוס אינו רואה, והמתח בין גאוותו של זה האחרון לאמת הידועה לנו הוא מקור עוצמתה של הדרמה.
- לאור סבירותן של תפישות שגויות מושרשות ולאור הפוטנציאל לאי-הבנה, נדרשת גישה מונעת ובלתי-מוכרת לרובנו לתכנון ההערכה. כדי להנדס את ההבנה בהצלחה עלינו לחשוב במהופך ולשאול: כיצד נראית הבנה כשהיא נמצאת או כשהיא נמצאת? עלינו להיות מסוגלים לתאר כיצד היא נראית, כיצד היא באה לביטוי, כיצד שונה הבנה לכאורה (או אי-הבנה) מהבנה אמיתית, אילו אי-הבנות צפויות לצמוח

(ולסכל את מטרותינו), ואם אנו מתקדמים בזיהויים ובפירוקם של מכשולים בלתי-נמנעים וצפויים להבנה עתידית. במילים אחרות, עלינו לחשוב לעומקן על ההערכות שלנו לפני שנוכל לחשוב לעומקן על ההוראה והלמידה.

כל תכנון תלוי, כאמור, בתכליות ברורות. אבל העניין מסתבך כתוצאה מעירובם של יעדים מוכתבים מבחוץ (סטנדרטי תוכן מדינתיים, למשל) ושל יעדים שבחרנו בעצמנו. כיצד נקבע סדרי עדיפות? כיצד נבחר בקְמָה מבין מחויבויות רבות כל כך כדי להבטיח תכניות אפקטיביות ולכידות? כיצד נתכנן יחידות לכידות מתוך תשומת לב מתמדת ליעדים הרבים והחופפים של הקורס והתכנית? כעת נפנה לשאלות אלה.