

הבנה לפני ולפנים*

דיוויד פרקינס, דיוויד קריסמונד,
רבקה סימונס וקריס אונגר

אנו מוקירים הבנה, ומנסים להשיגה ולהקנותה באמצעות הוראה. ועם זאת, עדיין איננו מבינים היטב את טבעה. על מנת לעמוד על טבע זה, עלינו להשוות בין מה שאנו מצפים מזכירה לבין מה שאנו מצפים מהבנה. לדוגמא: הבה נניח מצב שבו תלמיד שלמד את תיאוריית ברירה הטבעית של דרווין יבוא ויאמר, "אני זוכר את שלושת עקרונות המפתח די טוב". אנו נצפה מתלמיד זה להיות מסוגל לנקוב בשמותיהם של אותם עקרונות – גיוון, ברירה ותורשה – ואולי אף לחזור על הגדרותיהם. עתה, הבה נניח שתלמיד זה יגיד, "אני מבין את שלושת העקרונות די טוב". לאיזה סוג של ביצוע נצפה ממנו על מנת לבחון זאת? האם נצפה ממנו לפרפרזה? הרי פרפרזה ישירה על מה שהופיע בספר הלימוד לא תוכיח הרבה. אולי נצפה להסבר? ייתכן, אך אל להן לחזרות על הסברים שהופיעו בספר הלימוד

* David Perkins, David Crismond, Rebecca Simmons, and Chris Unger, "Inside Understanding," in *Software Goes to School: Teaching for Understanding with New Technologies*, edited by David Perkins, Martha Stone Wiske, Judah L. Schwartz, and Mary Manwell West. Oxford University Press, New York, 1995.

לשכנע אותנו. מה באשר ליישומים חדשים ויצירתיים להפליא של המושגים? אין שום ספק שתהיה בכך משום הוכחה של הבנה, אבל נדמה שזו תהיה דרישה גדולה מדי במסגרת ההבנה השגרתית או הצנועה שאנו רשאים לצפות לה. הלקח ברור: יש לנו מושג מעורפל ביותר בנוגע לאופן שבו אדם יכול להדגים את הבנתו, ומושג מעורפל עוד יותר בנוגע למנגנונים הפסיכולוגיים של ההבנה.

נוכל לסכם את השאלה כך: "מה יש לבני אדם כשיש בידיהם הבנה של משהו?". סיבה אחת להמשיך ולחקור תעלומה זו היא סקרנות בריאה באשר לטבעה של ההבנה, המהווה פונקציה מרכזית כל כך בקוגניציה האנושית. סיבה נוספת היא שהדרך להשגת הבנה היא לעתים קרובות קשה מאוד. התיאוריה של דרווין, למשל, מצליחה לבלבל תלמידים רבים (Brumby, 1993). מחקרים שהתפרסמו לאחרונה הראו שבאין-ספור תחומי מדע ומתמטיקה התלמידים מפתחים תפיסות מוטעות בנוגע לחומר שלכאורה למדו. תפיסות מוטעות תועדו היטב באלגברה (Matz, 1982), בפיזיקה (Chi, Feltovich, and Glaser, 1981; Chi, Glaser, and Rees, 1982;) Larkin, McDermott, Simon and Simon, 1980; McDermott, 1984; Kurland, Pea, Clement, and) (White 1983, 1993) בתכנות מחשבים (Linn, 1985 Mawby, 1986; Perkins, Schwartz, and Simmons, 1988 ובביולוגיה (Deadman and Kelly, 1978; Hackling and Treagust, 1984;) (Mintzes, 1984). לוי הייתה בידנו הבנה טובה יותר של הבנה, אולי היינו יכולים לעמוד על טיב הקשיים הניצבים בפני התלמידים ולמצוא את הדרכים לעזור להם להבין.

כדי לחקור מה פירוש הדבר "להבין", נתאר שלושה תלמידים בדיוניים, הלומדים על הבריירה הטבעית. נתעכב תחילה על חלקה ה"חיצוני" של ההבנה – הדרכים שבהן הבנה מופיעה בהתנהגות גלויה. מתוך כל מה שאנשים אומרים ועושים, מהו הדבר האומר לנו "כן, הם מבינים!"?



הבנה מבחוץ

בוני וקאל למדו על תיאוריית האבולוציה של דרווין. קאל לא ממש תפס את זה, והוא מבקש מבוני להסביר לו.

"קח לדוגמא את הסנפירים של כלבי-הים," אומרת בוני. "בוא נגיד שכלבים-פרה-היסטורי נולד במקרה עם סנפירים ארוכים יותר. זהו הגיוון. והסנפירים הארוכים יותר עוזרים לו לשחות טוב יותר, נגיד, כדי להתרחק מכרישים. זו הברירה: לאותו כלב-ים יש סיכויים טובים יותר לשרוד. ואז, כשכלבים-כזה הופך לאבא, יש סיכוי גדול יותר שלילדים שלו יהיו סנפירים ארוכים, כי לאבא שלהם יש אותם. זה נקרא תורשה. וכך הסנפירים נעשים יותר ויותר ארוכים, דור אחרי דור."

"אני מבין למה את מתכוונת", אומר קאל. "אבל הסנפירים לא יכולים להתארך לנצח, דור אחרי דור". בוני משתתקת; דמויות של כלבים-ים עם סנפירים ארוכים עד כדי גיחוך שוחות בדמיונה. "באמת", היא אומרת לאט, "אני אף פעם לא חשבתי על זה. אז למה באמת זה לא קורה?". בוני שוב משתתקת. "אהה, אני יודעת. זה הולך ככה: אם הסנפירים יהיו ארוכים מדי, הם יפריעו. כך שאם לכלב-הים יש במקרה סנפירים ארוכים מאוד, זה חיסרון לגביו, והסיכויים שלו לשרוד פוחתים. אז הסנפירים מפסיקים להתארך."

"טוב, אז בואי נראה אם אני מבין את זה," אומר קאל. "נניח שאני סוס פרה-היסטורי ואני רץ המון. אני מגדל שרירי רגליים גדולים בזמן שאני בורח מאריות, כך שהסיכויים שלי לברוח מהם, או ממי שלא יהיה, גדולים עוד יותר. ואז, גם לילדים שלי יהיו שרירי רגליים גדולים. ככה זה עובד?".

"לא, לא ממש", אומרת בוני. "אתה בעצמך, הסוס המקורי, צריך להיולד עם שרירי רגליים גדולים, או לפחות עם נטייה לפתח שרירי רגליים גדולים כשתגדל. מה שאתה מפתח במהלך החיים שלך, רק מפני שיש המון אריות שמהם אתה צריך לברוח, לא נחשב. אתה לא תוכל להעביר את זה הלאה לצאצאים שלך."



"למה לא?", שואל קאל. "זה דווקא הגיוני. נניח שאני סוס ואני גדל באזור עם המון אריות. אז אני גם רץ המון. זה יהיה ממש מועיל אם אוכל להעביר את השרירים האלה לילדים שלי. ככה זה צריך לעבוד, בערך כמו שאדם מוריש את מה שחסך לילדים שלו".

"בסדר", אומרת בוני, "אולי זה יהיה נחמד, אבל זה לא עובד ככה. יש פה מלכוד. מה שמועבר הלאה קבוע בגנים שלך. אבל הגנים שלך נקבעים ברגע שאתה נולד, ולמעשה, עוד ברגע ההתעברות שבו אתה נוצר. ככה שאם עבדת קשה ופיתחת שרירים גדולים, הגנים שלך לא ידעו על זה. התעברות זה כמו לזרוק קוביות משחק; אולי תקבל שרירי רגליים חזקים ואולי לא. אם תקבל רגליים חזקות יותר, וזה גם מה שאתה צריך כדי לברוח מאריות, אז תשרוד ותוכל להעביר הלאה את התכונה הזו".

כשדיאלוג זה שמור בזיכרונונו, הבה נחזור אל השאלה שעלתה קודם לכן: מה באמירות ובפעולות של אנשים אומר לנו שהם מבינים משהו? דומה שבוני בהחלט מבינה את נושא הברירה הטבעית. התנהגותה הגלויה מעידה על מה שניתן לכנותו "ביצוע הבנה" – ביצוע שיש לו לכל הפחות שלושה מאפיינים בסיסיים:

הצעת הסבר

ראשית, אנשים מבטאים את הבנתם על ידי הסבר שהם מציעים. במקרה שכאן, בוני מסבירה על הברירה הטבעית בדרך של מתן דוגמאות, כגון הדוגמא בדבר התכונה התורשתית של סנפירים ארוכים. היא מבליטה מאפיינים מכריעים כמו ברירה ותורשה. יתר על כן, היא מגיבה לחידה החדשה שקאל מעלה בנוגע להתארכותם האינסופית של הסנפירים. לעומת זאת, אילו בוני הייתה רק מתארת את כלבי-הים ומונה את התנאים בלי להציע הסברים כלשהם, היה בכך משום ביצוע לקוי – נדמה היה שחסרה לה הבנה.



גיבושו של ידע קישורי

שנית, אנשים מבטאים את הבנתם באמצעות הסברים המורכבים מידע קישורי. לדוגמא, הדיון של בוני יוצר זיקה בין גיוון גנטי לגיוון מורפולוגי, בין גיוון גנטי ומורפולוגי לבין סיכויי ההישרדות, ובין סיכויי ההישרדות לשימור התכונה. זוהי רשת סבוכה של סיבה ומסובב, שבוני לא רק מנסחת אותה במילים, אלא גם מדגימה אותה בעזרת הידע שלה על כלבי-ים וסוסים. אילו הסבריה של בוני היו דלילים, ואילו הייתה משתמשת, למשל, בחוק אחד פשוט, הרי שהיה בזה משום רמז לכך שהבנתה חלקית.

הצגת רשת הסברים הניתנת לשינוי ולהרחבה

שלישית, אנשים מדגימים את הבנתם באמצעות שינוי והרחבה של הסבריהם. לדוגמא, סיפורה של בוני על הברירה הטבעית אינו סתם דקלום של עובדות; היא משנה ומרחיבה את הידע שלה על גיוון וברירה. אין ספק שהדוגמא הראשונית שלה על כלבי-הים יכולה להיות לקוחה מספר לימוד. אבל בוני משנה את ההסבר שלה בתגובה לאתגר שמציב לה קאל בשאלתו על הספירים המתארכים תדיר, שאלה אשר ברור שאינה לקוחה מספר הלימוד. יתר על כן, בביקורתה על דוגמתו של קאל עם הסוס, בוני מרחיבה את רשת הידע שלה כך שתכלול לא רק את כלבי-הים, אלא גם את הסוס. רשת ההסברים שלה גם גמישה מאוד וניתנת להרחבה ולשינוי באופן יסודי. אלמלא כן, בוני הייתה נתפסת בעינינו כמדקלמת כמו תוכי ולא כמבינה.

בעוד שמאפיינים מעין אלה מצביעים על ביצוע מהסוג המצופה ממי שאכן מבין, בכל זאת כדאי להדגיש שביצוע כזה הוא לעתים קרובות **שביר** – חלקי, לקוי ומתנדף. כך, למשל, קאל מתאמץ להרכיב דוגמא משלו – הסיפור על הסוס שמחזק את שרירי רגליו. קאל אמנם מכניס לסיפור את עקרונות הברירה והתורשה, אך נעדר ממנו תפקידו המכריע של הגיוון המולד, על אף העובדה שרכיב זה הופיע בסיפורה של בוני על כלב-הים. אם

כך, על בוני לתקן את התפיסה המוטעית של קאל. אולי קאל תופס את ההסברים של בוני ואולי לא, אבל אם אכן כן, הרי ששיפור זה עלול להתנדף תוך דקות אחדות, אולי מחר, אולי בעוד שבוע.

בנקודה זו אנו יכולים להביט אחורה אל השאלה המקורית שהעלינו ולציין שהושגה התקדמות מסוימת. "מה יש לאנשים כשהם מבינים משהו?". התשובה הראשונית היא שלאנשים יש יכולת להציג טווח מסוים של ביצועים יצירתיים הכרוכים בהסבר.

בעוד שהניתוח שערכנו כאן מדגיש את חשיבות ההסבר בתהליך ההבנה, כדאי גם לציין שניתן לומר על אנשים שהם "מבינים" גם כשאנם יכולים להסביר. למשל, פסנתרן ג'אז מוכשר מבין כיצד לנגן ג'אז, אבל לא בהכרח יכול לתת לכך הסבר במילים, במחוות ידיים או אפילו בהדגמה שיטתית. אין שום ספק שמובנים כאלה של "הבנה" חשובים מאוד ודורשים ניתוח משלהם. אף על פי כן, במסגרת מטרותינו, נתרכז באותם מובנים של הבנה המדגישים הסבר, שכן דווקא מובנים אלה בולטים במיוחד בשורה ארוכה של הקשרים אקדמיים ולא אקדמיים.

הבנה מבפנים

הביצועים שבאמצעותם בוני הפגינה את הבנתה יכולים לרמוז על צורת הבנתה מבפנים. מבחוץ, אנו שומעים את בוני מעניקה הסבר מילולי נרחב בעודה מתמודדת עם האתגר שהציב בפניה קאל בשאלתו על הסנפירים המתארכים תדיר. מבחינה מנטלית, היא חוקרת רשת מושגים נרחבת שאותה נכנה **מבנה ההסבר**.

מהו מבנה ההסבר? זוהי רשת נרחבת של קשרים מסבירים, המקודדים מנטלית בכל אחת מן הדרכים הרבות המוצעות על ידי השכל: מילים, דימויים, בדיחות, פואנטות, עקרונות פורמליים וכיוצא באלה. מבנה הסבר זה הוא יותר מאשר הסבר שנלמד על-פה: הוא ניתן להרחבה ולשינוי. למשל, אנו יודעים שלבוני יש מבנה הסבר גמיש בנוגע לסוגיית הברירה



הטבעית, משום שבתשובתה לאתגר של קאל היא מרחיבה אותו למקרה התמוה של התארכות אינסופית של סנפירים.

חלקים במבנה ההסבר של בוני, אשר דן בברירה הטבעית, מתורגלים היטב. כך, לדוגמא, כפי שצוין לעיל, מקור הסיפור על כלב-הים שבוני מספרת לקאל יכול להיות ספר הלימוד שלמדה היטב. רכיבים נלמדים אלה מהווים את **שכבת היסוד** שעליה תבנה בוני בהמשך שיחתה עם קאל. רכיבים אחרים בהסבר הם בגדר חידוש שמומצא על המקום ושנועד להרחיב את שכבת היסוד – תשובותיה של בוני לאתגרים של קאל בנוגע לסנפירים המתארכים תדיר, או הדוגמא המוטעית של הסוס. אחדות מן ה**הרחבות** הללו יהפכו אולי לחלק משכבת היסוד הראשונית של בוני, ירחיבו אותה ויעניקו לה מאגר מגוון יותר, שבו תוכל להשתמש בעתיד. הרחבות רגעיות אחרות יכולות להישכח. ייתכן שבוני תשחזר אותן בהזדמנות אחרת, או תשכח אותן לגמרי.

אופיין הזמני של ההרחבות עוזר להסביר מאפיין של הבנה שצוין קודם לכן: השבירות שלה (Perkins, 1992; Perkins and Martin, 1986). מבנה ההסבר הוא בחלקו יציר זמני. הוא ניזון מהקשר עכשווי – משיחה מתמשכת, מאירורים הנערמים על השולחן, משרבוטים על הלוח וכו'. מבני ההסבר אינם מבנים קפואים – הם מתרחבים כאשר אנו דנים בסוגיה ומתכווצים כאשר אנו מניחים לה. אסוציאציות חדשות נותרות בשכבת היסוד והן שיקלו להבא על שחזורים והרחבות חדשות.

בכך אנו רושמים התקדמות מסוימת ביחס לשאלת הפתיחה: "מה יש לאנשים כשהם מבינים משהו?". יש להם מבני הסבר, רשתות עשירות של זיקות הניתנות להרחבה ולשינוי, והמסבירות את ההיבטים החשובים יותר של סוגיה נדונה. כל מבנה הסבר כולל בתוכו שכבת יסוד יציבה והרחבות רגעיות, שרבות מהן אולי תישכחנה, אך אחדות תתאחדנה עם שכבת היסוד. מבנה הסבר **יחשב** להבנה כאשר הוא גמיש – ניתן להרחבה ולשינוי. אלמלא כן, הוא לא היה יותר מאשר העתקה נוקשה.

מושג הנגישות של ההבנה

כיצד נבנים, מתרחבים ומשתנים מבני הסבר? מה הופך אותם לכה קשים לבנייה? מדוע הם שבירים ופגומים לעתים כה קרובות? על מנת לענות על שאלות אלו, אנו מציעים את מה שאנו מכנים **מושג הנגישות של ההבנה** (Perkins, 1993). מקור השם הוא בהנחה המכוונת אותו; כדי לבטא הבנה, כלומר לבנות, להרחיב ולשנות מבני הסבר, יש להישען על מספר משאבים:

1. **ידע**: נגישות למספר סוגי ידע (לדוגמא, ידע על שלושת העקרונות של דרווין, ידע על כלבי-ים או על החשיבות של בחינת התיאוריה כנגד מקרים חידתיים).
2. **ייצוג**: נגישות לידע, המתאפשרת הודות להדגמות שנבחרו בקפידה (למשל מקרים טיפוסיים, מטפורות מסייעות, דיאגרמות ברורות).
3. **מנגנוני שליפה**: נגישות המתאפשרת על ידי מנגנוני שליפה, המחלצים מידע רלוונטי מהזיכרון וממקור חיצוני (כמו היזכרות במה שנאמר בספר הלימוד או באופן שבו מתנהגים כלבי-ים).
4. **מנגנוני בנייה**: נגישות להשלכות, לשכלולים וליישומים חדשים, תוך תיווך מנגנוני בנייה יעילים במטרה לבנות מבני הסבר חדשים (למשל, כשבוני מסבירה על הספירים הארוכים).

הידע, הייצוג, מנגנוני השליפה ומנגנוני הבנייה מכונים ארבעת הממדים של רשת הנגישות. אין אלה קטגוריות נפרדות של ממש, אלא מעין היבטים שונים, הניתנים לניתוח נפרד, של תהליך עיבוד המידע הדרוש להפגנת "ביצועי הבנה". בהמשך המאמר נחקר מספר היבטים של כל ממד, על מנת להכין, בסופו של דבר, תרשים כללי של השלכות הנושא על ההוראה.

ממד הידע: מעל ומעבר לידע תוכני

אין זה מפתיע שהשגת הבנה תלויה בידע תוכני. הבנה של אלגברה, למשל, דורשת ידע של מושגים מרכזיים, כמו משתנה, משוואה, פתרון ועוד.



במקרה של בוני, הבנה של תיאוריית הברירה הטבעית דורשת ידיעה של שלושת העקרונות של התיאוריה הדארוויניסטית: גיוון, ברירה ותורשה. עם זאת, הבנה אינה תלויה באופן בלעדי במושגי יסוד אלה, אלא גם במידע תומך אחר, המסייע במהלך בניית מבני הסבר. ידע תוכני כללי הוא סוג אחד של מידע תומך שכזה. כשבוני מתמודדת עם שאלתו של קאל על כלבי-ים, למשל, היא נסמכת לא רק על עקרונותיו של דרווין, אלא גם על ידע כללי שיש לה על כלבי-ים – מדוע סנפירים ארוכים מדי יפריעו להם. עם זאת, גם מערכות ידע שהן מופשטות עוד יותר תהיינה רלוונטיות במידה שווה (Collins and Ferguson 1993; Ohlsson, 1993; Perkins, 1992; Perkins and Simmons, 1988). שני סוגים של ידע מדרגה גבוהה – פתרון בעיות וידע אפיסטמי – ישמשו כדוגמאות טובות לדיון שלפנינו.

ידע בפתרון בעיות

לומדים זקוקים לגישה לטווח רחב ביותר של ידע, שיתייחס לאופן שבו אפשר להגיע לפתרון בעיות, למיין את המידע המגיע וליישמו נכונה (השוו Brown, Bransford, Ferrara, and Campione, 1983; Campione et al., 1991). לעתים קרובות, הם נאלצים לשקוע בתהליך ארוך של פתרון בעיות בתחום מסוים, על מנת לעכל עובדות ורעיונות חדשים. לרוע המזל, הידע שיש ללומדים על תחום פתרון הבעיות הוא לרוב מוגבל ואף מטעה. אסטרטגיות מוגבלות מעין אלה כוללות ניסוי וטעייה, התמדה ונטישה, התקדמות על סמך ניחוש ופיצוח משוואות מקובלות (Perkins and Simmons, 1988). במקום לעסוק באופן פעיל בפתרון הבעיות, התלמידים נוטים בדרך כלל לפתח תשובות מן המוכן ולהשיב בדרכים סטריאוטיפיות.

דוגמא בולטת במיוחד לחשיבה פורמליסטית כזו מקורה בהוראת חשבון לתלמידי בית ספר (Lester, 1985). הילדים נשאלו כמה תרנגולות וכמה חזירים היו בחווה שכללה 18 בעלי חיים ו-52 רגליים בסך הכול. תלמידים רבים פתרו את הבעיה על ידי חיבור 18 ו-52. כשנשאלו מדוע חיברו, ענו

הילדים שבשאלה נאמר "כמה בסך הכול", ושלכן האסטרטגיה הנכונה הייתה חיבור שני המספרים יחד.

אסטרטגיות מסוימות לפתרון בעיות הן ספציפיות לדיסציפלינות מסוימות, בעוד שאחרות מתאימות למספר מקצועות או נהנות משימושיות כללית, ללא קשר למקצוע; למשל, אסטרטגיות מטא-קוגניטיביות העוזרות לתלמידים לבקר את התקדמותם ולהתמקד במשימתם (Brown, 1978). הנחיות כלליות, כגון פירוק הבעיה לחלקים נפרדים וניתנים לפתרון או חיפוש דרכי פתרון חלופיות, מסייעות גם הן בארגון תהליך פתרון הבעיות (Brown, Bransford, Ferrara, and Campione, 1983; Campione et al.) 1991; Polya, 1954; Scardamalia and Bereiter, 1985; Schoenfeld, 1980, 1985). לבסוף, גישות ודעות הנוגעות לפתרון בעיות מסייעות בהחשת התקדמות התהליך, במקום התמדה במסלול כושל או עצירה כללית (Dweck and Bempechat, 1980; Dweck and Licht, 1980; Perkins, Hancock, and Simmons, 1986; Perkins et. al., 1993).

לסיכום, טקטיקות מוגבלות ובלתי גמישות של פתרון בעיות עלולות להוביל למבני הסבר קשיחים ודלי זיקות. לעומת זאת, ידע רחב בפתרון בעיות מדרבן את התלמידים לצאת את גבולות האסטרטגיות הפורמליסטיות, או אסטרטגיות הניסוי והטעייה, המגבילות את החשיבה הרפלקטיבית על בעיות בתחום מסוים. בנוי, למשל, הוכיחה את נכונותה לפתור בעיות כאשר נענתה לאתגר שהציב קאל בשאלתו על הסנפירים. באופן אידיאלי, המאגר של כל תלמיד ותלמיד צריך לכלול טווח רחב של גישות ואסטרטגיות שונות לפתרון בעיות, החל מהתקדמות כללית ובקרתה וכלה בידע אסטרטגי ספציפי לתחום מסוים.

ידע אפיסטמי

התלמידים זקוקים גם ל"ידע אפיסטמי" כדי להרכיב מבני הסבר גמישים ולכידים. בכינוי "אפיסטמי" כוונתנו לידיעת "חוקי המשחק" של צידוק



והסבר בתחום מסוים. לדוגמא, כל תחום – ביולוגיה, אלגברה, פיסיקה, ספרות, היסטוריה – תלוי בסוג זה או אחר של הוכחות המצדיקות טענות שונות. הידע הקובע מהו סוג ההוכחה שבו יש להשתמש מתפקד כמו כלב שמירה כנגד הידע התוכני המתהווה. ידע זה מונע קליטה פסיבית ושטחית של תוכן ומעודד דרכי פתרון בעיות הבונות מחדש את ההבנות הישנות וכן הבנות חדשות (Collins and Ferguson, 1993).

רעיון "הידע האפיסטמי" אולי נראה פילוסופי, אך בוני וקאל עושים בו שימוש פעיל, גם אם בשתיקה, בדיון שלהם על כלבי-ים. לאחר ההסבר של בוני על התארכות הסנפירים בכל דור, קאל שם לב לכך שבסיפור יש בעיה פוטנציאלית. כלב השמירה האפיסטמי שלו נמצא בהיכון ומעודד אותו לבחון את גבולות התיאוריה. הוא זורק לבוני אתגר וטוען שסנפירים אינם יכולים להתארך לנצח.

גם לבוני יש תובנה אפיסטמית לבעיה. היא מבינה שבין תיאוריות מדעיות אמורה להיות התאמה. היא יודעת שחוקים או אקסיומות צריכים לתאום את האופן שבו הדברים מתרחשים בעולם. גם אם אין לבוני תשובה מידית על שאלתו של קאל, היא מבינה שתיאוריית הבריירה הטבעית לבטח לוקחת בחשבון נקודות מובנות מאליהן שכאלה. בעודה מתמודדת עם השאלה, בוני מבססת את חוט מחשבתה על ההנחות המנחות את התיאוריה, והתשובה שהיא מגיעה אליה שומרת על אחדות פנימית עם תפיסות היסוד המרכיבות את התיאוריה.

לסיכום, כדי להגיע להתפתחותם של מבני הסבר רחבים ותקפים, יש צורך ביותר מידע תוכני; נדרשים גם סוגי ידע אחרים וחשובים לא פחות. כמות ניכרת של חשיבה מסדר גבוה, שימוש בידע על אופן פתרון בעיות, ידע אפיסטמי – כל אלה ועוד הכרחיים להבנה מעמיקה.

ממד הייצוג: עוגנים מושגיים משלימים

כמה ימים מאוחר יותר, בהפסקה, בוני שומעת במקרה את קאל מנסה להסביר את עניין הברירה הטבעית לאלכס. היא מקשיבה כדי לבדוק האם קאל באמת "תפס" את הרעיון.

"אז אתה רואה," אומר קאל, "רק בגלל שהסוס גידל שרירי רגליים גדולים זה לא אומר שהצאצאים שלו ייוולדו עם שרירי רגליים גדולים". בוני מחייכת. "זה תלוי; זה כמו להטיל קוביות. אתה הרי יודע, זה כמו שלפעמים אתה מקבל 6 ולפעמים לא. אז לפעמים הצאצאים שלו ירשו שרירי רגליים גדולים ולפעמים לא".

בוני מקמטת את המצח. "מה קרה עכשיו?" היא שואלת את עצמה.

היא מנסה להיזכר. "אה, אני זוכרת," היא אומרת לעצמה. "אני נטיתי לחשוב שניתן להוריש תכונות נרכשות. כיצד תיקנתי את אי-ההבנה הזו? אני נזכרת עכשיו שמר הולי, המורה, הסביר את זה. אני שאלתי אם זה שאני מתאמנת והופכת לאצנית מהירה אומר שאוכל להוריש את הגנים האלה לילדים שלי, כך שגם הם יהיו אצנים מהירים. 'לא', הוא אמר, 'זה לא ממש ככה, בוני. למשל, אם צבעת את שערך לכתום, את חושבת שהילדים שלך ייוולדו עם שיער כתום?' 'בטח שאני לא חושבת ככה! אבל איך זה עובד?' 'אוקיי', הוא המשיך. 'את חושבת שרק בגלל שאת לומדת עכשיו גיאומטריה אז גם הילדים שייוולדו לך בעתיד ידעו גיאומטריה?'".

"אה, אני מבינה למה אתה מתכוון," אמרתי. "רק בגלל שאני לומדת גיאומטריה, או צובעת את השיער שלי, זה לא אומר שהגנים שלי משתנים. זה לא עובד ככה. אני לא יכולה לשנות את הגנים שלי על ידי מה שאני עושה. הגנים שלי נשארים כמו שהם." "נכון," הסכים מר הולי בהתלהבות. עכשיו זה מסתדר, חשבה הולי לעצמה. "ובכל מקרה, אני לא חושבת שלילדים שלי יהיה שיער כתום".

אז למה קאל לא "תפס" את זה? ככלות הכול, קאל שמע מבוני הסבר מספק בהחלט, שכלל התייחסות לכל הדברים שבלבלו אותו. גם אם ייתכנו



סיבות מסיבות שונות לבלבול של קאל, חשוב להכיר בעובדה שלעיתים קרובות אין די במידע חיוני ליצירת הבנה. חשוב במיוחד לשים לב לסוגי הדוגמאות שמר הולי השתמש בהן בכדי להסביר את הנושא לבוני, להבדיל מהדוגמאות שבוני השתמשה בהן בהסבריה לקאל.

ניתן להסביר את תיאוריית הברירה הטבעית באמצעות דוגמאות רבות, כגון הגדרות מילוליות, סיפור, סרט מצויר, מקרים מייצגים, הנגדה של מקרים מנוגדים ואנלוגיות. מר הולי השתמש במערך של דוגמאות מנוגדות – סוג אחד של ייצוג – שהבליט היטב את הרעיון העיקרי. לעומת זאת, מה שקאל זכר זה את האנלוגיה היחידה שבוני השתמשה בה – האנלוגיה למשחק הקוביות, שמעורב בו גורם הסיכוי, ולא שם לב – אולי בגלל שהייתה רק דוגמא אחת – לזמן שבו מטילים את הקוביות, הוא זמן ההתעברות.

על מנת להבהיר את הנקודה שבה מדובר, נכנה את הייצוגים ה"נאחזים" באופן אפקטיבי בהבנה בשם **עוגנים מושגיים**. בהירותם של ייצוגים מעין אלה, הקלות שבה זוכרים אותם וישירותם עוזרים לתלמידים לבנות מבני הסבר (Perkins and Unger, בדפוס). ג'ושואה ודופין, למשל (Joshua and Dupin, 1988), מצאו שייצוג של זרם חשמלי, בדמות רכבת המתנהלת על פני מסילה, מסייע לתלמידים להבין את ההבדל בין הממד ה"אנרגטי" לממד ה"חומרי" של הזרם החשמלי. בדומה, קלמנט (Clement, 1987) ומינסטרל (Minstrell, 1982) מצאו שהבנת החוק השלישי של ניוטון נעשית קלה יותר אם מפתחים את האינטואיציה הראשונית של התלמידים בנוגע לקפיצים ומשטחים גמישים.

ובכל זאת, מדוע להשתמש ביותר מייצוג אחד, כמו שעשה, למשל, מר הולי? לעתים קרובות, קורה שיש צורך במספר ייצוגים משלימים על מנת להרכיב מבנה הסבר מורכב (Perkins and Unger, בדפוס). כך, הדוגמאות של מר הולי, החל מצביעת השיער בכתום וכלה בריצה, סיפקו לבוני (1) הסברים למקרים שבהם שינוי גנטי הוא חסר שחר לגמרי (שיער כתום); (2)



דוגמאות נוספות שהיו קרובות יותר לביצועים טבעיים (ריצה), שבהם השינוי הגנטי לכאורה נראה אפשרי. השילוב בין שני הייצוגים הוא שהבהיר את הרעיון שלפיו, על פי התיאוריה של דרווין, אפילו פעילויות טבעיות לא הובילו לשינוי גנטי.

מספר מקורות בספרות מלמדים זכות על ייצוגים מרובים. לדוגמא, בניסויים שבהם הנשאלים התבקשו להכליל את הדרכים שבהן השתמשו לפתרון בעיות שהוצגו להם, גילו גיק והוליאוק (Gick and Holyoak, 1983) ששתי דוגמאות סיפקו לנשאלים מידע מספק הרבה יותר מאשר דוגמא אחת. גם חוקרים בתחום הוראת המדעים מצאו שהשימוש בייצוגים רבים ומשלימים מסייע להבנה. הסביבה המכונה "כלי החושב", שפותחה בידי וייט והורביץ (White, 1993), מציעה שימוש בשתי דוגמאות משלימות של מהירות ותאוצה על מנת להסביר לתלמידי כיתה ו' את חוקי המכניקה של ניוטון. תכנית הלימודים שפיתח ויזר (Wiser, Grosslight, and Unger, 1989; Wiser and Kipman, 1988) בנושא הוראת החום והטמפרטורה, נסמכת רבות על מודלים משלימים של חום וטמפרטורה, לא רק ברמת המקור, אלא גם ברמה המולקולרית.

לסיכום, עוגנים מושגיים משלימים מסייעים ליצירת קשרים בין ידע שנרכש זה מכבר לבין ידע חדש, או אפילו לבנייה מחודשת של ידע ישן. כפי שאנו למדים מסיפורם של בוני, קאל ואלכס, אין די בכך שהמידע פשוט "יהיה שם"; גם הייצוגים חייבים לתפקד כעוגנים מושגיים משלימים. אז ורק אז ההבנה תוכל להכות שורש ולשגשג.

ממד השליפה: הימנעות מידע אינרטי

בעוד שידע וייצוג ממלאים תפקידים ברורים במאמציהם של בוני, קאל ואלכס להבין את תיאוריית הברירה הטבעית, הרי שאנו עלולים להחמיץ ממד אחר של הקוגניציה: **שליפת הידע**. למשל, כאשר בוני שמעה את קאל ואלכס משוחחים ביניהם, היא לא הייתה חייבת לתהות על טיב הבנתם את



התיאוריה של דרווין; היא יכולה באותה מידה לחשוב על הביולוגי הצפוי לה בסוף השבוע או על משחק הכדורסל בערב. ייתכן שמאוחר יותר באותו יום הייתה בוני מוצאת את עצמה תוהה על הבנתה היא את התכונות הנרכשות, אבל באותה המידה גם ייתכן שלא הייתה חושבת על העניין שנית.

הלקח הוא פשוט: כדי שהידע והייצוגים יתפקדו ככלים להבנה, עליהם להישלף מהזיכרון לטווח ארוך. מן הראוי שנבדיל בין שליפה "על פני השטח" לבין שליפה של "חפירה עמוקה". בשליפת מידע "על פני השטח", מסגרת ההקשרים של המשימה מעלה על דעתו של השולף את אחד ממבני ההסבר הרלוונטיים. בשליפת "חפירה עמוקה", הפרט נדרש למאמץ מחושב על מנת להגיע למידע חיוני. שליפות "חפירה עמוקה" נעות בין תשאל עצמי (למשל, "ועכשיו, מה אני יודע על הברירה הטבעית?") לבין מאמץ פעיל לחבר בין פיסות מידע נשכחות-למחצה. יש כאן פעילות מטא-קוגניטיבית, שבה הפרט שואל את עצמו שאלות מדרבנות, ולא מגע פשוט עם המסגרת ההקשרית של המשימה.

מחקרים הראו שידע רב המצוי ברשותם של בני אדם הוא למעשה ידע "אינרטי": הוא מצוי בזיכרון אך אינו צץ "על פני השטח" או נשלף "בחפירה עמוקה" ברגעים המתאימים. לדוגמא, מחקרים שערך "המרכז לטכנולוגיה חינוכית", לבדיקת מיומנות התכנות של תלמידים, העלו כי מה שמתכנתים מתחילים ידעו על פקודות היה רב יותר מכפי שהיה נדמה. לעתים קרובות, הם לא שלפו את הפקודות המתאימות במהלך התכנות שלהם, ועם זאת, כאשר פקודות אלו הוזכרו, הם זיהו אותן ויכלו לעשות בהן שימוש יעיל. כמו כן, סדרת המחקרים שערכו ג'ון ברנספורד ועמיתיו הראתה שתלמידים נכשלו בניסיונם לשלוף מידע בהקשר שכלל פתרון בעיה מסוימת – מידע שהיה ברשותם (Bransford, Franks, Vye, and Sherwood, 1989).

מחקרים אחרים שנערכו על ידי ברנספורד ועמיתיו גילו אחדים מן התנאים לרכישת ידע העשוי לעלות "על פני השטח" (Brown, Bransford,)



(Ferrara, and Campione, 1983). כשתלמידים משתלטים על מידע באמצעות למידה המבוססת על פתרון בעיות – טכניקה שבה הידע נרכש במהלך פתרון בעיות – הנטייה היא לשלוף וליישם את הידע שנרכש בהקשרים דומים מאוחר יותר. כנראה שהסיבה לכך טמונה בחיבור האסוציאטיבי שנוצר בין הידע לבין סימנים הקשורים לשימוש בו; ההפעלה המתפשטת כתוצאה מזיהוי סימנים כאלה מכינה את מבני הידע הרלוונטיים. בניגוד ללימוד המבוסס על בעיות, לימוד סטנדרטי גורם לתלמידים לזהות מבני הסבר אך ורק דרך סימנים ישירים ("מתי גילה קולומבוס את אמריקה?"), ולא דרך סימנים המצביעים על אפשרויות של שימוש כללי יותר בידע שנצבר.

ברוח דומה נערכו גם המחקרים של פרקינס ושותפיו (Perkins, Schwartz, and Simmons, 1988; Schwartz, Perkins, Estey, Kruideneir, and Simmons, 1989). בין שאר חומרי העזר שנועדו לשפר את הוראת התכנות, מחקרים אלה כללו גם את הדברים הבאים: (1) אסטרטגיה לימודית שנועדה לסייע לתלמידים לקשר בין פקודות תכנות לבין יישומיהן המעשיים; (2) אסטרטגיות תכנות שנועדו לעודד תלמידים לחקור את יסודות ידיעתם בחיפוש אחר מידע רלוונטי. בעוד שהטכניקה הראשונה אפשרה שליפת ידע "על פני השטח", הטכניקה השנייה עודדה "חפירה מעמיקה". אף שאין דרך לבודד את השפעת האסטרטגיות הללו מבין מכלול האסטרטגיות שנלמדו, התערבותן הכללית בשיפור האופן שבו נלמד התכנות בהחלט נחלה הצלחה.

חלוקת סוגי השליפה ל"על פני השטח" ול"חפירה מעמיקה" מאפשרת לנו להסביר ביתר קלות את ערנותה של בוני לשיחתם של קאל ואלכס, וכן את הרהוריה לאחר מכן. השיחה שניהלה קודם לכן עם מר הולי גרמה לה לבחון מחדש את רעיונותיה בנוגע להורשת תכונות נרכשות – מעין שילוב של לימוד המבוסס על בעיות ושל שליפה "על פני השטח". יתר על כן, התנהגותה של בוני במהלך האירועים מעידה על היותה "חושבת פעילה", הבוחנת את עצמה ואת האחרים על מנת למצוא מידע: היא "חופרת" מידע.



באופן כללי, הסיכויים שהדרכה המטפחת לימוד ובחינה עצמית פעילים תותיר את התלמידים עם מצבורי ידע אינרטיים הם קטנים יותר.

תופעות נוספות הקשורות בממד השליפה כוללות את העברת הידע שנצבר להקשרים מרוחקים (Salomon and Perkins, 1989), את תפקיד המודלים המושגיים (Mayer, 1989), את תפקיד הטכניקות של תורת הזיכרון (Paivio, 1971) ועוד. באופן כללי, התופעות והמלכודות המעורבות בתהליכי שליפת המידע חמקמקות בהרבה מאלה המעורבות בלימוד המכני המסורתי, המזמין שליפה של החומר הנלמד על פי פקודה.

ממד הבנייה : תפיסת העניין לעומת התמודדות עמו

למחרת היום שבו שמעה את שיחתו עם קאל על הסוסים, בוני רואה את אלכס לברו במסדרון. "קאל ממש סיבך את זה," היא חושבת לעצמה. "ומה באשר לאלכס?"

"אתה זוכר את כל העסק הזה עם הסוסים ודרווין וכל זה?" היא שואלת, בלי שום הקדמה. אלכס נראה מופתע. "מה שקאל דיבר עליו אתמול?" שואלת בוני שוב. "אז מה אתה חושב, איך הסוסים מקבלים רגליים חזקות יותר?"

אלכס נראה מופתע עוד יותר. "אה...טוב... הוא נזכר ברעיון הכללי, טוב, אז ברור שלא בגלל שהם מתעמלים. אתה לא יכול להוריש את מה שהתעמלת עליו. זה פשוט לא עובד ככה."

"בסדר, אז איך זה עובד?"

"אוקיי, אז זה קורה כשאתה נולד; אתה נולד עם רגליים חזקות יותר." "אבל חשבת על זה שסייחים הם קטנים כאלה, ואין להם בכלל רגליים חזקות?" אומרת בוני.



"נכון", אומר אלכס ומתאמץ לחשוב. "אז"ו הוא מושך בכתפיו. "את יודעת, אני ממש לא תופס את זה. ככה זה עם הרעיונות האלה. או שאתה תופס אותם או שלא".

תגובותיהם של אנשים על הצורך לפענח רעיונות חדשים, או להסביר רעיונות ישנים מזווית חדשה, נובעות מתיאוריית למידה חבויה כלשהי. שאלותיה של בוני ותשובותיו של אלכס מובילות למחשבה שהשניים מחזיקים בתיאוריות למידה שונות. אלכס חושב שהבנה מתרחשת באמצעות "תפיסת העניין"; תפיסה זו מגיעה במהירות, כמעט באופן אינטואיטיבי, אם בכלל. לעומתו, בוני (וגם קאל) בונים את הבנתם באמצעות "התמודדות עם עניין". בוני עסוקה בהרחבת ידיעותיה על תיאוריה מסוימת, ביישום ידיעותיה למקרים חדשים ובבדיקת גבולות ידיעותה.

המשימה הקוגניטיבית של בניית הבנה חדשה היא בהכרח מורכבת ביותר. מעורבים בה גורמים שונים, כגון מציאת הדמיון והמאפיינים הסימטריים, מתן תשומת לב למבנה ההיררכי של עובדות שונות בתחום מסוים, ולאופן שבו הן מצטרפות לשלם אחד. אמנם, ניתוח מעמיק של כל פרט ופרט עשוי להיות מועיל, אך את הנקודות העיקריות והחשובות ביותר נוכל לגלות גם דרך הנגדה פשוטה בין הגישה של "תפיסת העניין" לגישה של "התמודדות עם עניין".

"תפיסת העניין" מהווה את אחד היסודות הבסיסיים ביותר של ההבנה היום-יומית; זה מה שאנו עושים כשמספרים לנו בדיחה, כשעלינו למצוא את דרכינו בבית לא מוכר, כשחבר שלא ראינו שנים מעדכן אותנו בקורות חייו. מנקודת מבט פסיכולוגית, "תפיסת העניין" היא קליטה, ארגון ותיאום מהירים של כל העובדות הנמצאות בזיכרון, ההסברים והתסריטים האפשריים, ואפילו שיחות רלוונטיות. מטרתה של תרכובת סבוכה זו היא בניית הבנה בעבור מצבים חדשים.

"תפיסת המשמעות" משרתת אותנו נפלא, אבל אנו נתקלים בחסרונותיה – העדר גישה אחרת מלבדה בעת בניית הבנה חדשה בתכלית. לעתים



קרובות, כשלומדים נושא חדש, חסרים לנו המבנים הקוגניטיביים הרלוונטיים כדי לאפשר "תפיסת עניין" מהירה, פענוח מזוהז של הקוד. כך, למשל, מאחר שאלכס לא מכיר את הסוגיות המורכבות של הברירה הטבעית, ציפיתו לתפוס מיד את משמעותו של תחום חדש לחלוטין זה היא חסרת שחר.

יתר על כן, הגישה של "תפיסת העניין" מובילה לעתים קרובות למבני הסבר פשטניים, המצמצמים סוגיות מורכבות לכדי סטריאוטיפים. אנשים המסתמכים על גישה זו כמעט אינם בוחנים את הנחותיהם הקודמות, והתוצאה היא תפיסות נאיביות בעלות מאפיינים רדודים. אלכס צריך להתמודד עם האתגרים הללו, אלא שבמקום זאת הוא חוזר על המוטו הפילוסופי שלו: או שאתה תופס את העניין או שלא.

ההתמודדות עם בעיה כלשהי מתחילה היכן ש"תפיסת העניין" לא צולחת. גם אם רובנו נסכים שדרוויין עצמו התמודד עם הבעיה שלפניו לעומק ולאורך זמן על מנת להגיע לתיאוריית הברירה הטבעית (Gruber, 1974), הרי שרק מעטים יסכימו להתמודד כך עם בעיות, לעבוד קשה ולבנות מבני הסבר דומים, אפילו בהדרכתו של דרוויין.

מנקודת מבט קוגניטיבית, התמודדות עם בעיות דורשת מה שמכונה **עיבוד מרחיב** – כלומר, לחשוב, להרחיב ולבחון את הרעיונות – דבר המשפר את נגישותו ועומקו של המבנה הקוגניטיבי. בניית מבני הסבר מיסודותיהם מצריכה קיטלוג של רעיונות על פי קטגוריות, ויצירת קטגוריות חדשות במקום הישנות שאיבדו את תוקפן. לשם כך נדרשות דוגמאות נרחבות, פתרון סיבוכים ועריכת מעקב ביקורתי אחר המושגים הראשוניים, הניחויים והמסקנות המוטעים. בשיחות בין בוני לקאל הייתה מעורבת **התמודדות** מתמשכת עם היבטיה המבלבלים של תורת האבולוציה. בנוי אף ערכה מעקב ביקורתי אחר ידיעותיהם של חבריה. ההבנה שבנתה הייתה שבירה פחות, משום שההרחבה סייעה לה לבסס את שכבת היסוד ואת הזיקות בין התפיסות החדשות לבין הידע המבוסס שהצטבר.



מה עלינו להבין, אם כן, מגישותיהם המוצקות של בוני, קאל ואלכס בנוגע לבניית הבנה? תוכנה חשובה ניתן למצוא בהבחנה שערכה קרול דואק (Carol Dweck) בין "לומדי הצטברות" (incremental learners) לבין "לומדי ישות" (entity learners) (Dweck and Bempechat, 1980; Dweck, 1980). דואק גילתה שצעירים רבים התנהגו באופן עקיב כאילו שהחומר שהיה עליהם ללמוד הוא בגדר שלם אחד יחיד, שצריך לתפוס אותו במלואו – "או שאתה תופס את זה או שלא". לעומתם, צעירים אחרים הבינו את חשיבות הלמידה המצטברת; הם התמודדו עם סוגיות סבוכות צעד אחר צעד, וביצעו את מה שכינינו **התמודדות עם עניין**.

דואק גילתה שתלמידים אינטליגנטיים מסוימים הם "לומדי ישות", הנכונים לסגת ברגע שלא הבינו רעיון, בעוד שדווקא תלמידים פחות מבריקים עשויים להיות "לומדי הצטברות", המוכנים "לדגור" ו"לטחון" עד שתסתמן התקדמות מסוימת בהבנתם. בתסריט שלנו, בוני נראית חכמה יותר מקאל, אך דואק הייתה מתארת את שניהם כלומדי הצטברות. נחמד מאוד להיות "חריף" מלידה, אבל חריף או לא, אלכס – לומד ישות טיפוסי – יכונן הבנות מעטות ופשוטות יותר ולא יממש את מלוא הפוטנציאל שלו.

נגישות לחינוך

ידוע לכול שהלמידה תלויה בנגישות – נגישות לציוד מתאים, למורים משכילים, לחומרים מסייעים וכו'. אין שום ספק שאוכלוסיות מקופחות רבות סבלו מהעדר נגישות לאפשרויות לימוד משופרות.

באמצעות מושג זה של נגישות, אנו אומרים דבר מה אנלוגי על עולמו הפנימי של השכל. כשם שתלמידים זקוקים לנגישות פיסית למורים, לציוד ולחומרים טובים, כך הם זקוקים גם לנגישות מנטלית למבחר רחב של ידע מסדר גבוה, ייצוגים נגישים והקשרים מגוונים המסייעים להפעלת ידע רלוונטי. כשם שמסגרות סוציאליות מקופחות מונעות לעתים נגישות פיסית

למשאבי למידה, כך מסגרות חינוכיות מקופחות מונעות לעתים מתלמידים את הנגישות המנטלית שהם זקוקים לה.

נגישות תלויה בידע

לעתים קרובות מדי, החינוך פשוט אינו מאפשר נגישות לתחומי ידע שהם קריטיים לבניית מבני הסבר. בעוד שמרבית הטקסטים והמורים מספקים את "העובדות" באופן מניח את הדעת, הרי שבניית הסברים דורשת לעתים קרובות הרבה יותר: יש צורך באסטרטגיות לפתרון בעיות ובעקרונות אפיסטמיים שההוראה הטיפוסית כלל אינה מטפלת בהם. אותם תלמידים שמצליחים להבין בכל מקרה תופסים את הדברים "מהצד" או "קריאה בין השורות", בעוד שרבים אחרים אינם מגלים את נתיבי הגישה המיוחדים הללו.

נגישות תלויה בייצוג

נגישות טובה פירושה יותר מאשר זמינות עקרונית של ידע. ידע זמין באמת תלוי בכך שהייצוגים הנושאים את הידע יהיו "עוגנים מושגיים" יעילים, שיחשפו רשתות של זיקות חשובות בדרך חיה וקלה לזכירה. בעוד שמספר עוגנים מושגיים הופיעו לאחרונה בניסויים חינוכיים, הרי שספרי לימוד, כרזות, דפי תרגול וכל הניירת המעורבת בחינוך מייצגים את הידע בדרכים דידקטיות מדי, שאינן מספקות עוגנים מושגיים טובים.

נגישות תלויה בשליפה

ידע נכון ומיוצג היטב אינו יכול לסייע ללומדים בהבנה אם הם אינם שולפים אותו מזיכרוןם או ממקורות חיצוניים בעת ניסיונותיהם לבנות הבנה. ידע שנרכש בעת התמודדות עם עניין, או כזה המקושר להקשרים יישומיים, יצוץ בהזדמנויות רלוונטיות מאוחרות יותר בסבירות גבוהה יותר מאשר ידע שהופנם בלימוד מכני. יתר על כן, סביר יותר שידע רלוונטי יישלף כשבני אדם עוסקים בניסיונות פעילים ותקיפים "לחפור" את המידע



ממעמקי זיכרונם. לרוע המזל, ההוראה הבית ספרית לא נוטה לעודד אף אחת מן הדרכים הללו.

נגישות תלויה ביעילות מנגנוני הבנייה

לעתים, די בנגישות לטווח סביר של ידע רלוונטי, המתווך על ידי ייצוגים מתאימים, על מנת ליצור הבנה. אין שום ספק שלומדים אכן תופסים עניין: מנגנונים אוטונומיים במידה מסוימת מרכיבים מבנה הסבר תוך התבססות על אוסף מבנים מן המוכן. למרות זאת, תפיסת הגישה אינה יעילה כלל ועיקר כשעל התלמידים להתמודד עם מערכות מושגיות חדשות וסבוכות, בייחוד בתחומים שבהם כבר יש להם אינטואיציות מנוגדות. בנסיבות מעין אלו, בניית מבנה מספק של הסבר דורשת תהליך התמודדות ממושך ומודע-לעצמו הרבה יותר. לרוע המזל, לא זו בלבד שהחינוך הרגיל אינו מותיר מקום לתהליך ההתמודדות עם המורכבויות של מערכות מושגיות קשות, אלא שהוא אף אינו מעודד אתגרים מעין אלה.

לסיכום, העובדה המתמיהה היא שרק לעתים רחוקות יוצרת ההוראה תנאים המסייעים ל"ביצועי הבנה", בעוד שהחינוך, רובו ככולו, שואף ליצירת הבנה. החינוך הבית ספרי מקבל "ציון" גרוע במיוחד בתחומי התמודדותו עם טווח רחב של ידע ועם השימוש בייצוגים חזקים המספקים עוגנים מושגיים, בטיפוח שליפה "על פני השטח" ושליפת "חפירה עמוקה" ובהנחלת הרגלי למידה תוך התמודדות עם בעיות מורכבות.

מושג הנגישות, ומאמצים אינטגרטיביים אחרים הקרובים לו ברוחם, מצביעים על מה שניתן לכנות "פדגוגיה של הבנה". ככל שאנו קרבים יותר להערכה נכונה יותר של התנאים שבהם מתפתחת הבנה, נדמה שפדגוגיית הבנה מועילה לכול היא בטווח השגתנו.

תרגמה: דפנה עמית



מראי מקומות

- Anderson, J. R., 1983. *The Architecture of Cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Bransford, J. D., J. J. Franks, N. J. Vye, and R. D. Sherwood, 1989. "New Approaches to Instruction: Because Wisdom Can't Be Told," in *Similarity and Analogical Reasoning*, edited by S. Vosniadou and A. Ortony. New York: Cambridge University Press.
- Brown, A. L., 1978. "Knowing When, Where, and How to Remember: A Problem of Metacognition," in *Advances in Instructional Psychology*, vol. 1, edited by R. Glaser. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, A. L., J. D. Bransford, R. A. Ferrara, and J. C. Campione, 1983. "Learning, Remembering and Understanding," in *Handbook of Child Psychology*, vol. 3: *Cognitive Development*, 4th edition, edited by J. H. Flavell and E. M. Markman. New York: Wiley, pp. 77-166.
- Brown, D., and J. Clement, 1987. "Misconceptions Concerning Newton's Law of Action and Reaction," in *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Brumby, M. N., 1979. "Problems in Learning the Concept of Natural Selection," *Journal of Biological Education* 13(2): 119-22.

- Brumby, M. N., 1984. "Misconceptions About the Concept of Natural Selection by Medical Biology Students," *Science Education* 68(4): 493-503.
- Campione, J. C., A. L. Brown, R. A. Reeve, R. A. Ferrara, and A. S. Palincsar, 1991. "Interactive Learning and Individual Understanding: The Case of Reading and Mathematics," in *Culture, Schooling and Psychological Development*, edited by L. T. Landsmann. Norwood, NJ: Ablex, pp.136-70.
- Case, R., 1985. *Intellectual Development: Birth to Adulthood*. New York: Academic Press.
- Case, R., 1992. *The Mind's Staircase: Exploring the Conceptual Underpinnings of Children's Thought and Knowledge*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M., P. Feltovich, and R. Glaser, 1981. "Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices," *Cognitive Science* 5: 121-52.
- Chi, M., R. Glaser, and R. Rees, 1982. "Expertise in Problem Solving," in *Advances in Psychology of Human Intelligence*, edited by R. Sternberg. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 7-75.
- Clement, J., 1982. "Students' Preconceptions in Introductory Mechanics," *American Journal of Physics* 50: 66-71.
- Clement, J., 1987a. "Overcoming Students' Misconceptions in Physics: The Role of Anchoring Intuitions and Analogical Validity," *Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca, NY: Cornell University Press.



- Clement, J., 1987b. The Use of Analogies and Anchoring Intuitions to Remediate Misconceptions in Mechanics. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Washington, D.C., April 1987.
- Collins A., and W. Ferguson, 1993. "Epistemic Forms and Epistemic Games," *Educational Psychologist* 28(1): 25-42.
- Deadman, J. A., and P. J. Kelly, 1978. "What Do Secondary School Boys Understand about Evolution and Heredity before They are Taught the Topics?" *Journal of Biological Education* 12(1): 7-15.
- Dweck, C. S., and J. Bempechat, 1980. "Children's Theories of Intelligence: Consequences for Learning," in *Learning and Motivation in the Classroom*, edited by S. G. Paris, G. M., Olson, and H. W. Stevenson. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 239-56.
- Dweck, C. S., and B. G. Licht, 1980. "Learned Helplessness and Intellectual Achievement," in *Human Helplessness*, edited by J. Garbar, and M. Seligman. New York: Academic Press.
- Gardner, H., 1991. *The Unschooled Mind: How Children Think and How Schools Should Teach*. New York: Basic Books.
- Gick, M. L., and K. J. Holyoak, 1983. "Schema Induction and Analogical Transfer," *Cognitive Psychology* 15: 1-38.
- Gruber, H. E., 1974. *Darwin in Man: A Psychological Study of Scientific Creativity*. New York: Dutton.
- Hackling, M. W., and D. Treagust, 1984. "Research Data Necessary for Meaningful Review of Grade 10 High School Genetics

- Curricula,” *Journal of Research in Science Teaching* 21(2): 197-209.
- Joshua, S., and J. J. Dupin, 1987. “Taking into Account Student Conceptions in a Didactic Strategy: An Example in Physics,” *Cognition and Instruction* 4(2): 117-35.
- Jungworth, E., 1975. “Preconceived Adaptation and Inverted Evolution, A Case of Distorted Concept Formation in High-School Biology,” *The Australian Science Teachers Journal* 212: 95-100.
- Kurland, M. D., R. D. Pea, C. Clement, and R. Mawby, 1986. *A Study of the Development of Programming Ability and Thinking Skills in High-School Students*. New York: Bank Street College of Education, Center for Children and Technology.
- Larkin, J. H., J. McDermott, D. P. Simon, and H. A. Simon, 1980. ” Scientific Reasoning: Garden Paths and Blind Alleys.,” in *Research in Science Education: New Questions, New Directions*, edited by J. Robons. Colorado Springs, CO: Biological Science Curriculum Study.
- Lester, F., 1985. “Methodological Considerations in Research on Mathematical Problem-Solving Instruction,” in *Teaching and Learning Mathematical Problem Solving: Multiple Research Perspectives*, edited by E. A. Silver. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 41-69.
- Linn, M. C., 1985. “The Cognitive Consequences of Programming Instruction in Classrooms,” *Educational Researcher* 14: 14-29.
- Matz, M., 1982. “Towards a Process Model of High Algebra Errors,” in *Intelligent Tutoring Systems*, edited by D. Sleeman, and J.S. Brown. New York: Academic Press, pp. 25-50.



- Mayer, R. E., 1989. "Models for Understanding," *Review of Educational Research* 59(1): 43-64.
- McDermott, L. C., 1984. "Research on Conceptual Understanding in Mechanics," *Physics Today* 37: 24-32.
- Minstrell, J., 1982. "Explaining the 'at rest' Condition of an Object," *Physics Teacher* 20(1): 10-14.
- Mintzes, E., 1984. "Understanding and Misunderstandings of Biology Concepts," *School Science and Mathematics* 84(7): 548-55.
- Ohlsson, S., 1993. "Abstract Schemas," *Educational Psychologist*, 28(1): 51-66.
- Paivio, A., 1971. *Imagery and Verbal Processes*. New York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Perkins, D. N., 1992. *Smart Schools: From Training Memories to Educating Minds*. New York: The Free Press.
- Perkins, D. N., 1993. "Person Plus: A Distributed View of Thinking and Learning," in *Distributed Cognitions*, edited by G. Salomon. New York: Cambridge University Press, pp.88-110.
- Perkins, D. N., and F. Martin, 1986. "Fragile Knowledge and Neglected Strategies in Novice Programmers," in *Empirical Studies of Programmers*, edited by E. Soloway, and S. Iyengar. Norwood, NJ: Ablex, pp.213-29.
- Perkins, D. N., and G. Salomon, 1988. "Teaching for Transfer," *Educational Leadership* 46(1): 22-32.
- Perkins, D. N., and R. Simmons, 1988. "Patterns of Misunderstanding: An Integrative Model of Misconceptions in Science, Mathematics,

- and Programming,” *Review of Educational Research* 58(3): 303-26.
- Perkins, D. N., and C. Unger, in press. “A New Look in Representations for Mathematics and Science Learning,” *Instructional Science*.
- Perkins, D. N., E. Jay, and S. Tishman, 1993. “Beyond Abilities: A Dispositional Theory of Thinking,” *The Merrill-Palmer Quarterly* 39(1): 1-21.
- Perkins, D. N., Schwartz, S., and R. Simmons, 1988. “Instructional Strategies for the Problems of Novice Programmers,” in *Teaching and Learning Computer Programming: Multiple Research Perspectives*, edited by R. Mayer. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 153-78.
- Perkins, D. N., C. Hancock, R. Hobbs, F. Martin, and R. Simmons, 1986. “Conditions of Learning in Novice Programmers,” *Journal of Educational Computing Research* 2(1): 37-56.
- Polya, G., 1954. *Mathematics and Plausible Reasoning*, 2 vols. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Salomon, G., and D. N. Perkins, 1989. ”Rocky Roads to Transfer: Rethinking Mechanism of a Neglected Phenomenon,” *Educational Psychologist* 24(2): 113-42.
- Scardamalia, M., and C. Bereiter, 1985. “Fostering the Development of Self-Regulation in Children's Knowledge Processing,” in *Thinking and Learning Skills*, vol. 2: *Research and Open Questions*, edited by S. F. Chipman, J. W. Segal, and R. Glaser. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, pp.563-77.



- Schoenfeld, A. H., 1980. "Teaching Problem-Solving Skills," *American Mathematical Monthly* 87: 794-805.
- Schoenfeld, A. H., 1985. *Mathematical Problem Solving*. Orlando, FL: Academic Press.
- Schwartz, S., D. N. Perkins, G. Estey, J. Krudeneir, and R. Simmons, 1989. "A 'Metacourse' for BASIC: Assessing a New Model for Enhancing Instruction," *Journal of Educational Computing Research* 5(3): 263-97.
- White, B., 1983. "Sources of Difficulty in Understanding Newtonian Dynamics," *Cognitive Science* 7: 41-65.
- White, B., 1993. "Thinker Tools: Casual Models, Conceptual Change, and Science Education," *Cognition and Instruction* 10(1): 1-100.
- Wiser, M., and D. Kipman, 1988. "The Differentiation of Heat and Temperature: An Evaluation of the Effect of Microcomputer Models on Students' Misconceptions," *Educational Technology Center Draft Article*, July 1988.
- Wiser, M., L. Grosslight, and C. M. Unger, 1989. *Can Conceptual Computer Models Aid Ninth Graders' Differentiation of Heat and Temperature?* Tech. Report TR 89-6. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Education, Educational Technology Center.