

הבנה לפני ולפנים*

דיוויד נ' פרקינס, דיוויד קריסמונד, רבקה סימונס וקריס אונגר

Chi, Glaser, & Rees, 1982; Larkin, McDermott, Simon ; (& Simon, 1980; McDermott, 1984; White 1983, 1993 בתכנות מחשבים (Kurland, Pea, Clement, & Mawby, 1985 1986; Perkins, Schwartz, & Simmons, 1988 Deadman & Kelly, 1978; Hackling &) ובביולוגיה (Treagust, 1984; Mintzes, 1984). לוי היתה בידעו הבנה טובה יותר של ההבנה, אולי היינו יכולים לעמוד על טיב הקשיים הניצבים בפני התלמידים ולמצוא את הדרכים לעזור.

כדי לחקור מה פירוש הדבר להבין, נתאר שלושה תלמידים בדיוניים הלומדים על הברירה הטבעית. נתעכב תחילה על ה"חץ" של ההבנה, על הדרכים שבהן הבנה מופיעה בהתנהגות חיצונית. מתוך כל מה שאנשים אומרים ועושים מה אומר לנו: "כן, הם מבינים!"

הבנה מבחוץ

בונים וקאל למדו על תיאוריית האבולוציה של דרווין. קאל לא ממש תופס את זה והוא מבקש מבוני להסביר לו. "קח לדוגמא את הסנפירים של כלבי הים", אומרת בוני. "בוא נגיד שכלב ים 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 כשכלב ים 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."



נחנו מוקירים הבנה, מנסים להשיגה ולהקנות אותה באמצעות הוראה, אבל עדיין איננו מבינים היטב את טבעה. על מנת לעמוד על טבעה עלינו להשוות בין מה שאנחנו מצפים מזכירה ובין מה שאנחנו מצפים מהבנה. הבנה ננית, לדוגמא, מצב שבו תלמיד שלמד את תיאוריית הברירה הטבעית של דרווין יבוא ויאמר: "אני זוכר את שלושת עקרונות המפתח די טוב." אנחנו נצפה מתלמיד זה להיות מסוגל לנקוב בשמותיהם של אותם עקרונות - גיוון, ברירה ותורשה - ואולי אף לחזור על הגדרותיהם. עתה, הבנה ננית שתלמיד זה יגיד "אני מבין את שלושת העקרונות די טוב." לאיזה סוג ביצוע נצפה ממנו על מנת לבחון זאת? פרפרזה? הרי פרפרזה המורכבת רק ממראי מקום ישירים למילים שהופיעו בספר הלימוד לא תוכיח הרבה. הסבר? ייתכן, אך אל להן לחזרות על הסברים שהופיעו בספר הלימוד לשכנע אותנו. מה באשר ליישומים חדשים ויצירתיים להפליא של המושגים? אין שום ספק שתהיה בכך משום הוכחה של הבנה. אבל נדמה שתהיה זו דרישה גדולה מדי מהבנה שגרתית או צנועה שאנו רשאים לצפות לה. הלקח ברור: במחשבה ראשונה, 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 את התעלומה היא סקרנות בריאה באשר לטבע ההבנה - 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, 1979, 1984; Jungworth, 1975 Brown & Clement, 1987; Clement, 1982; McDermott, 1984; White, 1983, 1993). מחקרים שהתפרסמו לאחרונה הראו שבאין-ספור תחומי מדע ומתמטיקה התלמידים מפתחים תפיסות מוטעות בנוגע לחומר שלכאורה למדו. תפיסות מוטעות תועדו היטב באלגברה (Chi, Feltovich, & Glaser, 1981; Matz, 1982) ; בפיסיקה

* David N. Perkins, David Crismond, Rebecca Simmons, & Chris Unger, "Inside Understanding," *Software Goes to School: Teaching for Understanding with New Technologies*, New York: Oxford University Press, 1995.

הצעת הסבר

ראשית, אנשים מבטאים את הבנתם על-ידי הסבר שהם מציעים. למשל, בוני מסבירה על הברירה הטבעית בדרך של מתן דוגמאות, כגון התכונה התורשתית של הסנפירים הארוכים. 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 היתה רק מתארת את כלבי הים ומונה את התנאים בלי להציע הסברים כלשהם, היה בכך משום ביצוע לקוי - היה נדמה שחסרה לה הבנה.

ביטוי של ידע זיקתי

שנית, אנשים מבטאים את הבנתם באמצעות הסברים המורכבים מידע זיקתי. לדוגמא, הדיון של בוני יוצר זיקה

בין גיוון גנטי וגיוון מורפולוגי, בין גיוון גנטי ומורפולוגי לבין סיכויי ההישרדות, ובין סיכויי ההישרדות לשימור התכונה. זוהי רשת סבוכה של סיבה ומסובב שבונים לא רק מנסחת במילים אלא גם מדגימה בעזרת הידע שלה על כלבי ים וסוסים. אילו הסבירה של בוני היו דלילים והיא היתה משתמשת, למשל, בחוק אחד פשוט, הרי שהיה בזה משום רמז לכך שהבנתה חלקית.

הצגת רשת הסברים ניתנת 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 הסנפירים 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. אלולא כן, בוני היתה 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 שבי - 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 מהסיפור התפקיד המכריע של

"אני מבין למה את מתכוונת", אומר קאל. "אבל הסנפירים לא יכולים להתארך לנצח, דור אחרי דור." בוני משתתקת, דמויות של כלבי 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 אל. "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, זה לא נחשב. אתה לא תוכל להעביר את זה הלאה לצאצאים שלך."

"לא? למה?" 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 שאתה מוריש את מה שחשכת לילדים שלך."

"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, למעשה עוד ברגע של 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, זה גם מה שאתה צריך כדי לברוח מאריות, אז תשרוד ותוכל להעביר הלאה את התכונה הזו."

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



בוני, ירחיבו אותה ויעניקו לה רפרטואר מגוון יותר שבו תוכל להשתמש בעתיד. הרחבות רגעיות אחרות עשויות להישכח. בוני אולי תשחזר אותן אחר-כך, בהזדמנות אחרת, או תשכח אותן לגמרי.

אופיין הזמני של ההרחבות עוזר להסביר מאפיין של הבנה שצוין לפני כן: שבירותה (Perkins, 1992; Perkins & Martin, 1986). מבנה ההסבר הוא בחלקו יציר זמני. הוא ניוון מהקשר עכשווי - משיחה מתמשכת, מאיורים 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 רחבות וניתנות להרחבה ולשינוי, המסבירות את ההיבטים החשובים יותר של סוגיה נידונה. 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. אילולא כן, לא היה יותר מאשר העתקה נוקשה.

מושג הנגישות של הבנה

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 הבנה (Perkins, 1993). מקור השם הוא בהנחה המכוונת את המושג: 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 שבבחינת התיאוריה כנגד מקרים חידתיים).

2. **ייצוג.** נגישות לידע המתאפשר 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 איך 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 הסנפירים הארוכים).

הגיוון המולד, על אף העובדה שמרכיב 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 אנחנו 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, הרי שכדאי גם לציין שניתן לומר על אנשים שהם "מבינים" גם כשאנשים יכולים להסביר. למשל, פסנתרן ג'אז מוכשר מבין כיצד לנגן ג'אז אבל לא בהכרח יכול לתת הסבר במילים, במחוות ידיים או אפילו בהדגמה שיטתית. אין שום ספק שמובנים כאלה של "הבנה" חשובים מאוד ודרושים ניתוח משלהם. אף על פי כן, במסגרת מטרותינו נתרכזו באותם מובנים של הבנה המדגישים הסבר, שכן דווקא הם בולטים במיוחד בשורה ארוכה של הקשרים אקדמיים ולא אקדמיים.

הבנה מבפנים

הביצועים שבאמצעותם בוני הפגינה את הבנתה יכולים לרמוז על צורתה 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 המוח: 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 שבמענה 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. מרכיבים נלמדים אלה מהווים את **שכבת היסוד** שעליה תבנה בוני בהמשך שיחתה עם קאל. מרכיבים אחרים בהסבר הם בגדר חידוש, המומצא על המקום כדי להרחיב את שכבת היסוד - תשובותיה של בוני לאתגרים של קאל בנוגע לסנפירים המתארכים תדיר או הדוגמא המוטעית של הסוס. אחדות מן **ההרחבות** הללו יהפכו אולי לחלק משכבת היסוד הראשונית של

(Simmons, 1988). במקום לעסוק באופן פעיל בפתרון הבעיות, התלמידים נוטים בדרך כלל לפתח תשובות מן המוכן ולהשיב בדרכים סטריאוטיפיות.

דוגמא בולטת במיוחד לחשיבה נוסחתית כזו מקורה בהוראת חשבון לתלמידי בית-ספר (Lester, 1985). הילדים נשאלו כמה תרגולות 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" ולכן האסטרטגיה הנכונה היתה חיבור שני המספרים יחד.

אסטרטגיות מסוימות לפתירת בעיות הן ספציפיות לדיסציפלינות מסוימות, בעוד שאחרות חובקות מספר מקצועות או נהנות מתוקף כללי, ללא קשר למקצוע. למשל, אסטרטגיות מטאקוגניטיביות העוזרות לתלמידים לבקר את התקדמותם ולהתמקד במשימתם (Brown, 1978). הנחיות כלליות, כגון פירוק הבעיה לחלקים נפרדים וניתנים לפתירה או חיפוש דרכי פתרון חלופיות, מסייעים גם הם בארגון תהליך פתירת הבעיות (Brown, Bransford, Ferrara, & Campione, 1983; Campione et al. 1991; Polya, 1954; Scardamalia & Bereiter, 1985; Schoenfeld, 1980, 1985). גישות ודעות תומכות הנוגעות לפתירת הבעיות מסייעות בהחשת התקדמות התהליך ולא פוגמים בו או עוצרים אותו (Dweck & Bempechat, 1980; Dweck & Licht, 1980; Perkins, Hancock, Hobbs, Martin & Simmons, 1986; Perkins et al., 1993).

לסיכום, טקטיקות מוגבלות ולא גמישות של פתירת בעיות עלולות להוביל למבני הסבר קשיחים ודלי זיקות. לעומת זאת, ידע רחב בפתירת בעיות מדרבן את התלמידים לצאת את גבולות האסטרטגיות הנוסחתיות הפשטניות, או את אסטרטגיית הניסוי והטעייה, המגבילות את החשיבה המושכלת על בעיות בתחום מסוים. בוני, למשל, הוכיחה את נכונותה לפתור בעיות כאשר נענתה לאתגר שהציב קאל בשאלתו על הסנפירים. באופן אידיאלי, רפרטואר של כל תלמיד ותלמיד צריך לכלול טווח רחב של גישות ואסטרטגיות שונות לפתירת 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 לדיעות "חוקי המשחק" לצידוק ולהסבר בתחום מסוים. לדוגמא, כל תחום - ביולוגיה, אלגברה, פיסיקה, ספרות, היסטוריה - תלוי בסוג זה או אחר של הוכחות המצדיקות טענות שונות. הידע הקובע מה סוג ההוכחה שבו יש להשתמש מתפקד כמו כלב שמירה כנגד הידע התוכני המתהווה. ידע זה מונע קליטה פסיבית ושטחית של תוכן ומעודד דרכי פתירת בעיות הבוחנות את ההבנות הישנות (Collins & Ferguson, 1993).



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". בשארית המאמר נחקור מספר היבטים של כל ממד על מנת להכין, בסופו של דבר, תרשים כללי של השלכות 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 הביריה הטבעית דורשת ידיעה של שלושת העקרונות של התיאוריה הדוויניסטית: 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. גם מערכות ידע מופשטות יותר מאשר תוכן רגיל תהיינה רלוונטיות במידה שווה (Collins & Ferguson 1993; Ohlsson, 1993; Perkins, 1992; Perkins & Simmons, 1988). שני סוגים של ידע מדרגה גבוהה - פתירת בעיות וידע אפיסטמי - ישמשו כדוגמאות טובות לדיון שלפנינו.

ידע בפתירת בעיות

לומדים זקוקים לגישה לטווח רחב ביותר של ידע, שיתייחס לאופן שבו אפשר להגיע לפתרון של בעיות במטרה למיין את המידע המגיע וליישמו נכונה (השוו Brown, Bransford, Ferrara, & Campione, 1983; Campione et al., 1991). לעתים קרובות הם נאלצים לשקוע בתהליך ארוך של פתירת בעיות בתחום מסוים על מנת לעכל עובדות ורעיונות חדשים. לרוע המזל, הידע שיש ללומדים על תחום פתירת הבעיות הוא לרוב מוגבל ואף מטעה. אסטרטגיות מוגבלות כמו ניסוי וטעייה, שימור וזניחה, התקדמות על סמך ניחוש ופיצוח משוואות מושלות בכיפה (Perkins &)

'אוקיי', הוא המשיך. 'את חושבת שרק בגלל שאת לומדת עכשיו גיאומטריה אז גם הילדים שיוולדו 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 שילדים שלי יהיה שיער כתום."

אז למה קאל לא "תפס" את זה? אחרי 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 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 - שהבליטו היטב את הרעיון העיקרי. לעומת זאת, מה שקאל זכר היתה האנלוגיה היחידה שבוני השתמשה בה על משחק הקוביות, שמעורב בו גורם הסיכוי, ולא שם לב - אולי בגלל שהיתה רק דוגמא אחת - לזמן שבו מטילים את הקוביות, לזמן ההתעברות. אנחנו נכנה את הדוגמאות הנאחזות באפקטיביות כזאת בהבנה על מנת להבהיר את הנקודה שבה מדובר

עוגנים מושגיים. ייצוגים

מעין אלה עוזרים לתלמיד לבנות מבני הסבר משום בהירותם, הקלות שבה זוכרים אותם והיותם ישירים (Perkins & Unger, בדפוס). גישוואה ודפין, למשל (Joshua & Dupin, 1988), מצאו שייצוג של זרם חשמלי, בדמות רכבת המתנהלת על פני מסילה, מסייע לתלמידים להבין את ההבדל בין הממד ה"אנרגטי" והממד 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

רעיון ה"ידע אפיסטמי" 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 מיידית על שאלתו של קאל, היא מבינה שתאוריית הברירה הטבעית לבטח לוקחת בחשבון תוצאות מובנות מאליהן כאלה. 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 פתירת הבעיות, 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 על הברירה הטבעית לאלכס. היא מקשיבה כדי לבדוק אם קאל באמת "תפס" את הרעיון.

"אז אתה רואה," אומר קאל, "רק בגלל שהסוס גידל שרירי רגליים גדולים זה לא אומר שהילדים שלו

ייוולדו עם שרירי רגליים גדולים." בוני מחייכת. "זה תלוי; זה כמו להטיל קוביות אתה יודע, זה כמו שלפעמים אתה מקבל 6 ולפעמים לא. אז לפעמים הילדים 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 אי-הבנה זו? 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 אכן זה עובד!'



"חפירה עמוקה", הפרט נדרש למאמץ מחושב על מנת להגיע למידע חיוני. שלפחות "חפירה עמוקה" נעות בין תשאול עצמי (למשל, "ועכשיו, מה אני יודע על הברירה הטבעית?") ובין מאמץ פעיל לחבר בין פיסות מידע נשכחות למחצה. יש כאן פעילות מטאקוגניטיבית 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 שערכו המרכז לטכנולוגיה חינוכית לבדיקת מיומנות התכנות של תלמידים, מצאו כי מה שמתכנתים מתחילים ידעו על פקודות היה רב יותר ממה שהיה נדמה. לעתים קרובות, הם לא שלפו את הפקודות המתאימות במהלך התכנות שלהם. עם 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 פתירת בעיה מסוימת, מידע שהיה ברשותם (Bransford, Franks, Vye, & Sherwood, 1989).

מחקרים אחרים שנערכו על-ידי ברנספורד ועמיתיו גילו אחדים מן התנאים לרכישת ידע שצף "על פני השטח" (Brown, Bransford, Ferrara, & Campione, 1983). כשתלמידים משתלטים על מידע באמצעות למידה המבוססת על פתירת בעיות - טכניקה שבה הידע נרכש במהלך פתירת בעיות - הנטייה היא לשלוף וליישם את הידע שנרכש בהקשרים דומים מאוחר יותר. כנראה שהסיבה לכך טמונה בקשר הנוצר בין ידע וסימנים מתוך הקשרים קודמים לשימוש בו; ההפעלה המופשטת מממן סימנים אלה מכינה את מבני הידע הרלוונטיים. בניגוד ללימוד המבוסס על בעיות, לימוד סטנדרטי גורם לתלמידים לזהות מבני הסבר אך ורק דרך סימנים ישירים ("ימתי גילה קולומבוס את אמריקה?"), ולא דרך סימנים המצביעים על אפשרויות של שימוש כללי יותר בידע שנצבר.

ברוח דומה נערך גם המחקר של פרקינס ושותפיו (Perkins, Schwartz, & Simmons, 1988; Schwartz, Perkins, Estey, Kruideneir, & Simmons, 1989; Schwartz & Perkins). מחקרים אלה כללו בין שאר חומרי העזר שנועדו לשפר את הוראת התכנות 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 שלפית "על פני השטח", הטכניקה השנייה עודדה "חפירה מעמיקה". אף שאין דרך לבדוד את השפעת האסטרטגיות הללו מבין מכלול האסטרטגיות שנלמדו, התערבותן הכללית בשיפור האופן שבו התכנות נלמד בהחלט נחלה הצלחה.

הסבר מורכב (Perkins & Unger, בדפוס). כך, הדוגמאות של מר הולי החל מצביעות 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 אפילו פעילויות טבעיות לא הובילו לשינוי גנטי על פי התיאוריה של דרווין.

מספר מקורות בספרות מלמדים זכות על ייצוגים מרובים. לדוגמא, בניסויים שבהם הנשאלים התבקשו להכליל את הדרכים בהן השתמשו לפתירת בעיות שהוצגו להם, גילו גיק והוליאוק (Gick & 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 החשוב", שפותחה בידי וייט והורביץ (White, 1993), מציגה שימוש בשתי דוגמאות משלימות של מהירות ותאוצה על מנת להסביר לתלמידי כיתה ו' את חוקי המכניקה של ניוטון. תוכנית הלימודים שפיתח ויזר (Wiser, Grosslight, & Unger, 1989; Wiser & Kipman, 1988) בנושא הוראת החום והטמפרטורה נסמכת רבות על מודלים משלימים של חום וטמפרטורה לא רק ברמת ההקשר אלא גם ברמה המולקולרית.

לסיכום, עוגנים מושגיים משלימים ומסייעים ליצירת קשרים בין ידע שנרכש זה כבר וידע חדש, או אפילו לבנייה מחודשת של ידע ישן (ראו שוב Perkins & Unger, בדפוס). 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 בולטים לעין 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 היתה חייבת לתהות על טיב הבנתם את התיאוריה של דרווין; היא יכלה באותה מידה לחשוב על הבילוי הצפוי לה בסוף השבוע או על משחק הכדורסל בערב. ייתכן שמאוחר יותר באותו יום היתה בוני מוצאת את עצמה תוהה על הבנתה היא את התכונות הנרכשות, אבל באותה המידה גם יכלה לא לחשוב 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" ושליפה של "חפירה עמוקה". בשליפת מידע "על פני השטח", מסגרת ההקשרים של המשימה מעלה על דעתו של השולף אחד ממבני ההסבר הרלוונטיים. בשליפת

תגובותיהם של אנשים על הצורך לפענח רעיונות חדשים או להסביר רעיונות ישנים מזווית חדשה, נובעות מתאוריות למידה חבויה כלשהי. שאלותיה של בוני ותשובותיו של אל מובילות למחשבה שהשניים מחזיקים בתאוריות למידה שונות. אל חושב שהבנה מתרחשת באמצעות "תפיסת העניין". היא 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 ידיעתה.

המשימה הקוגניטיבית של בניית הבנה חדשה היא בהכרח מורכבת ביותר. מעורבים בה גורמים שונים כגון מציאת הדמיון והמאפיינים הסימטריים, תשומת לב למבנה ההיררכי בין העובדות השונות בתחום מסוים, והאופן 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 גישת "תפיסת העניין" וגישת "התמודדות עם עניין".

"תפיסת העניין" מהווה את אחד היסודות הבסיסיים ביותר של ההבנה היומיומית. זה מה שאנחנו 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, התסריטים האפשריים ואפילו שיחות רלוונטיות. מטרת של תרבות סבוכה זו היא בניית הבנה עבור מצבים חדשים.

"תפיסת משמעות" 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, היות שאלכס לא מכיר את הסוגיות המורכבות של הברירה הטבעית, הציפייה שלו להיות מסוגל לתפוס את משמעותו של תחום חדש לחלוטין היא חסרת שחר.

יתר על כן, גישת "תפיסת

העניין" מובילה לעתים קרובות למבני הסבר פשטניים, המשטיחים סוגיות מורכבות לכדי סטריאוטיפים. אנשים הסומכים על גישת "תפיסת העניין" כמעט ואינם בוחנים את הנחותיהם הקודמות, והתוצאה היא תפיסות נאיביות בעלות מאפיינים רדודים. אלכס צריך להתמודד עם

חלוקת סוגי השליפה ליעל פני השטח" ו"חפירה מעמיקה" מאפשרת לנו להסביר ביתר קלות את עירנותה של בוני לשיחתם של קאל ואלכס כמו גם את הרהוריה אחר-כך. 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 "מעל פני השטח". יתר על כן, התנהגותה של בוני במהלך האירועים מעידה על היותה "חושבת פעילה", הבוחנת את עצמה ואף את האחרים על מנת למצוא מידע: היא "חופרת" מידע. באופן כללי, הסיכויים שהדרכה המטפחת לימוד ובחינה עצמית פעילים יותר את התלמידים עם מצבורי ידע אינטרטיים הם קטנים יותר.

תופעה נוספת הקשורה בממד השליפה כוללת את העברת הידע שנצבר להקשרים מרוחקים (Salmon & Perkins, 1989) תפקיד המודלים המושגיים (Mayer, 1989), תפקיד הטכניקות של תורת הזיכרון (Paivio, 1971) וכדומה. באופן כללי, התופעות והמלכודות המעורבות בתהליכי שליפת מידע חמקמקות בהרבה מאלה המעורבות בלימוד המכני המסורתי, השולף את החומר הנלמד לפי פקודה.

ממד הבנייה: תפיסת העניין לעומת התמודדות עמו

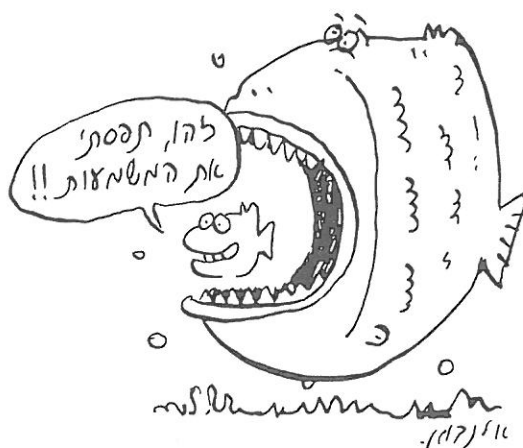
בוני רואה את אלכס לבדו במסדרון, למחרת היום שבו שמעה את שיחתו עם קאל על הסוסים. "קאל ממש סיבך את זה", היא חשבה לעצמה. "ומה עם אל?" "אתה זוכר את כל העסק הזה עם הסוסים, ודרווין וכל זה?" היא שואלת בלי שום הקדמה. אל נראה

מופתע. "מה שקאל דיבר עליו אתמול?" היא שוב שואלת. "אז מה אתה חושב, איך הסוסים מקבלים רגליים חזקות יותר?" אל 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 אל ומתאמץ לחשוב. "אז..." הוא מושך בכתפיו. "את יודעת, אני ממש לא תופס את זה. ככה זה עם הרעיונות האלה. או שאתה תופס אותם או שלא."



בתרשים זה של מערכת הנגישויות, אנחנו אומרים דבר-מה אנלוגי על עולמו הפנימי של המוח. כשם שתלמידים זקוקים לנגישות פיסית למורים, לציד ולחומרים טובים, כך הם זקוקים גם לנגישות מנטלית למבחר רחב של ידע מסדר גבוה, ייצוגים נגישים והקשרים מגוונים המסייעים להפעלתו של 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 בידיע

לעתים קרובות מדי החינוך פשוט לא מאפשר נגישות לתחומי ידע קריטיים לבניית מבני הסבר. בעוד שמרבית הטקסטים והמורים מספקים באופן מניח את הדעת את "העובדות", הרי שבניית הסברים דורשת לעתים קרובות הרבה יותר: יש צורך באסטרטגיות לפתירה בעיות ובעקרונות אפיסטמיים שההוראה הטיפוסית כלל אינה מטפלת בהם. אותם תלמידים שמצליחים להבין בכל מקרה, תופסים את הדברים "מהצד" או ב"קריאה בין השורות", בעוד שתלמידים רבים אחרים לא 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 בדרכי חיה וקלה לזכירה. בעוד שמספר עוגנים מושגיים הופיעו לאחרונה בניסויים חינוכיים, הרי שספרי לימוד, כרזות, דפי תרגול וכל הנירת המעורבת בחינוך מייצגים את הידע בדרכים דידקטיות מדי, דרכים שאינן מספקות עוגנים מושגיים טובים.



האתגרים הללו, אלא שבמקום זאת הוא חוזר על המוטו הפילוסופי שלו: או שאתה תופס את העניין או שלא.

התמודדות עם בעיה מתחילה היכן ש"תפיסת העניין" נעלמת. גם אם רובנו נסכים שדרוין עצמו התמודד עם הבעיה שלפניו לעומק ולאורך זמן על מנת להגיע לתיאורית הברירה הטבעית (Gruber, 1974), הרי שמעטים יותר יסכימו לכך שגם עלינו להתמודד עם הבעיות, לעבוד קשה ולבנות מבני הסבר דומים, אפילו תחת הדרכתו של דרווין.

מנקודת מבט קוגניטיבית, התמודדות עם בעיות דורשת מה שמכונה **עיבוד מרחיב** - כלומר, לחשוב, להרחיב ולבחון את הרעיונות - דבר שמשפר את נגישותו ועומקו של המבנה הקוגניטיבי. בניית מבני הסבר מיסודותיהם מצריכה קיטלוג רעיונות על פי קטגוריות ויצירת קטגוריות חדשות במקום הישנות שאיבדו את תוקפן. לשם כך נדרשות דוגמאות נרחבות, פתירת סיבוכים, ועריכת מעקב ביקורתי אחרי המושגים הראשוניים, הנחושים והמסקנות המוטענים. בשיחות בין בוני וקאל היתה מעורבת **התמודדות** מתמשכת עם ההיבטים המבלבלים של תורת האבולוציה. בוני אפילו ערכה מעקב ביקורתי אחרי ידיעותיהם של חבריה. ההבנה שבנתה שבירה פחות, משום שההרחבה סייעה לה לבסס את שכבת היסוד ואת הזיקות בין התפיסות החדשות והידע המבוסס שהצטבר.

מה עלינו לחבין, אם כן, מגישותיהם המוצקות של בוני, קאל ואלכס בנוגע לבניית הבנה? תובנה חשובה ניתן למצוא בהבחנה שקרול דואק (Carol Dweck) עושה בין "לומדי הצטברותיים" ובין "לומדי ישותיים" (Dweck & Bempechat, 1980; Dweck & Licht, 1980). היא גילתה שצעירים רבים התנהגו באופן עקבי כאילו שהחומר שהיה עליהם ללמוד הוא בגדר שלם אחד יחיד שאותו צריך לתפוס במלואו - "או שאתה תופס את זה או שלא". צעירים אחרים הבינו את חשיבות הלמידה המצטברת; הם התמודדו עם סוגיות מסובכות צעד אחר צעד, מבצעים את מה שכינו **התמודדות עם עניין**.

דואק גילתה שתלמידים אינטליגנטיים מסוימים הם לומדים ישותיים, והם נכונים לסגת ברגע שלא הבינו רעיון, בעוד שדווקא תלמידים פחות מבריקים עשויים להיות לומדים הצטברותיים, שמוכנים לדגור ולטחון עד שתסתמן התקדמות מסוימת בהבנתם. בתסריט שלנו, בוני נראית חכמה יותר מקאל, אך דואק היתה מתארת את שניהם כלומדים הצטברותיים. נחמד מאוד להיות "חריף" מלידה, אבל חריף או לא, אלכס כלומד יכון הבנות מעטות יותר ופשוטות יותר ולא יממש את מלוא הפוטנציאל שלו.

נגישות לחינוך

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

נגישות תלויה בשליפה

ידע נכון ומיוצג היטב לא יכול לסייע ללומדים בהבנה אם אינם שולפים אותו מזכרונם או ממקורות חיצוניים בעת נסיונותיהם לבנות הבנה. סביר יותר שידע שנרכש בעת התמודדות עם עניין או מקושר להקשרים יישומיים יצוץ בהזדמנויות רלוונטיות מאוחרות, יותר מאשר ידע שהופנם בלימוד מכני. יתר על כן, סביר יותר שידע רלוונטי יישלף כשבני-אדם עוסקים בניסיונות פעילים ותקיפים "לחפור" את המידע ממעמקי זכרונם. לרוע המזל, ההוראה הבית-ספרית לא נוטה לעודד אף אחת מן הדרכים הללו.

נגישות תלויה ביעילות מנגנוני הבנייה

לעתים, הנגישות לטווח סביר של ידע רלוונטי המתווך על-ידי ייצוגים מתאימים די בה ליצירת הבנה. אין שום ספק שלומדים אכן תופסים עניין: מנגנונים אוטונומיים במידה מסוימת מרכיבים מבנה הסבר תוך התבססות על אוסף מבנים מן המוכר. למרות זאת, תפיסת הגישה אינה יעילה כלל ועיקר כשעל התלמידים להתמודד עם מערכות מושגיות חדשות וסבוכות, בייחוד בתחומים שבהם כבר יש להם אינטואיציות מוגדרות. בנסיבות מעין אלו, בניית

מבנה הסבר מספק דורשת תהליך התמודדות הרבה יותר ממושך ומודע לעצמו. לרוע המזל, החינוך הרגיל לא רק שאינו משאיר מקום לתהליך ההתמודדות עם מורכבויותיהן של מערכות מושגיות קשות, אלא 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 ההבנה. החינוך הבית-ספרי מקבל תעודה גרועה במיוחד בתחומי התמודדות עם טווח רחב של ידע, עם השימוש בייצוגים חזקים המספקים עוגנים מושגיים, בטיפוח שלילת "על פני השטח" ושלילת "חפירה עמוקה", והנחלת הרגלי למידה תוך התמודדות עם בעיות מורכבות.

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

תרגמה מאנגלית: דפנה עמית

מראי מקומות

____ & C. Unger. In Press. "A new look in representations for mathematics and science learning," *Instructional Science*.

____ & F. Martin. 1989. "Fragile knowledge and neglected strategies in novice programmers," in E. Soloway & S. Iyengar (eds.), *Empirical studies of programmers*, Norwood, NJ: Ablex, pp.213-29.

____ & G. Solomon. 1988. "Teaching for transfer," *Educational Leadership*, 46(1):22-32.

____ & R. Simmons. 1988. "Patterns of misunderstanding: An integrative model of misconceptions in science, mathematics, and programming," *Review of Educational Research*, 58(3):303-26.

____, L. Grosslight, & 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.

____, R. Glaser & R. Rees. 1982. "Expertise in problem solving," in R. Sternberg (ed.), *Advances*

in psychology of human intelligence, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 7-75.

____, Schwartz, S., & R. Simmons. 1988. "Instructional strategies for the problems of novice programmers," in R. Mayer (eds.), *Teaching and learning computer programming: Multiple research perspectives*, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp. 153-78.

____. 1984. "Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students," *Science Education* 68(4):493-503.

____. 1985. *Mathematical Problem Solving*. Orlando, FL: Academic Press.

____. 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.

____. 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.

_____. 1992. *The mind's staircase: Exploring the conceptual underpinnings of children's thought and knowledge*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

_____. 1993. "Person plus: A disturbed view of thinking and learning," in G. Salomon (ed.), *Distributed cognitions*, New York: Cambridge University Press, pp.88-110.

_____. 1993. "Thinker Tools: Casual models, conceptual change, and science education," *Cognition and Instruction*, 10(1):1-100.

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 S. Vosniadu and A. Ortny (eds.), *Similarity and analogical reasoning*, New York: Cambridge University Press, pp. 470-497.

Brown, A. L. 1978. "Knowing When, where, and how to remember: A problem of metacognition," in R. Glaser (ed.), *Advances in Instructional Psychology*, Vol. 1, Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Brown, D. & J. Clement. 1987. *Misconceptions concerning Newton's law of action and reaction: Proceedings of the second international seminar on misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, Ithaca, NY: Cornell University.

Brumby, M. N. 1979. "Problems in learning the concept of natural selection," *Journal of Biological Education* 13(2):119-22.

Campione, J. C., A. L. Brown, R. A. Reeve, R. A. Ferrara, & A. S. Palincsar. 1991. "Interactive learning and individual understanding: The case of reading and mathematics," in L. T. Landsmann (ed.), *Culture, Schooling and Psychological Development*, Norwood, NJ: Ablex, pp.136-70.

Case, R. 1985. *Intellectual development: Birth to adulthood*. New-York: Academic Press.

Chi, M., P. Feltowich, & R. Glaser. 1981. "Categorization and representation of physics by experts and novices," *Cognitive Science*, 5:121-52.

Clement, J. 1982. "Students' preconceptions in introductory mechanics," *American Journal of Physics*, 50: 66-71.

Collins A. & W. Ferguson. 1993. "Epistemic forms and epistemic games," *Educational Psychologist*, 28(1):25-42.

Deadman, J. A. & 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. & B. G. Licht. 1980. "Learned helplessness and intellectual achievement," in J. Garbar & M. Seligman (eds.), *Human Helplessness*, New York: Academic Press.

Dweck, C. S. & J. Bempechat. 1980. "Children's theories of intelligence: Consequences for learning," In S. G. Paris, G. M., Olson, & H. W. Stevenson (eds.), *Learning and motivation in the Classroom*, Hillsdale, HJ: Erlbaum, pp. 239-56.

Gardner, H. 1991. *The unschooled mind: How children think and how schools should teach*, New York: Basic Books.

Gick, M. L. & K. J. Holoyak. 1983. "Schema induction and analogical transfer," *Cognitive Psychology*, 15:1-38.

Gruber, H. E. 1974. *Darwin in Man: Apsychological study of scientific creativity*, New York: Dutton.

Hackling, M. W. & D. Treagust. 1984. "Research data necessary for meaningful review of grade 10 high schools genetics curricula," *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2):197-209.

J. D. Bransford, R. A. Ferrara and J. C. Campione. 1983. "Learning, remembering and understanding," in J. H. Flavell and E. M. Markman (eds), *Cognitive development. Vol. 3 of Handbook of child psychology*, 4th ed., New-York: Wiley.

Joshua, S. & 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 Teacher's Journal*, 212: 95-100.
- Kurland, M. D., R. D. Pea, C. Clement, & R. Mawby. 1986. *A study of development of programming ability and thinking skills in high-school students*. New York: Bank Street College for Children and Technology.
- Larkin, J. H., J. McDermott, D. P. Simon, & H. A. Simon. 1980. "Scientific reasoning: Garden paths and blind alleys.," in J. Robons (ed.), *Research in science education: New questions, new directions*, Colorado Springs, CO: Biological Science Curriculum Study.
- Lester, F. 1985. "Methodological considerations in research on mathematical problem-solving instruction," in E. A. Silver (ed.), *Teaching and learning mathematical problem solving: Multiple research perspectives*, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 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 D. Sleeman & J.S. Brown (eds.), *Intelligent tutoring systems*, 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 process*. New York: Holt, Reinhart, & Winston.
- Perkins, D. N. 1992. *Smart Schools: From training memories to educating minds*. New York: The Free Press.
- Perkins, D. N., C. Hancock, R. Hobbs, F. Martin, & R. Simmons. 1986. "Conditions of learning in novice programmers," *Journal of Educational Computing Research*, 2(1):37056.
- Polya, G. 1954. *Mathematics and plausible reasoning*, 2 Vols. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Salomon, G. & D. N. Perkins. 1989. "Rocky roads to transfer: Rethinking mechanism of a neglected phenomenon" *Educational Psychologist*, 24(2):113-42.
- Scardamalia, M. & C. Bereiter. 1985. "Fostering the development of self-regulation in children's knowledge processing," in S. F. Chipman, J. W. Segal, & R. Glaser (eds.), *Thinking and learning skills: Research and open questions*, Vol. 2, Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp.563-77.
- Schoenfeld, A. H. 1980. "Teaching problem-solving skills," *American Mathematical Monthly*, 87:794-805.
- Schwartz, S., D. N. Perkins, G. Estey, J. Krudeneier, & 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.
- Wiser, M. & 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.