

פיזה 2012 - מסגרת המחקר בפתרון בעיות

ט י ו ט ה

ספטמבר 2010

הקונסורציום:

(ACER, אוסטרליה) Australian Council for Educational Research

(ApStAn Linguistic Quality Control (Belgium) (בלגיה)

(DIPF, גרמניה) Deutsches Institut für Internationale Pädagogische Forschung

(ETS, ארה"ב) Educational Testing Service

(ILS, נורווגיה) Institutt for Lærerutdanning og Skoleutvikling

(IPN, גרמניה) Leibniz - Institute for Science Education and Mathematics

(NIER, יפן) National Institute for Educational Policy Research

The Tao Initiative: CRP - Henri Tudor and Université de Luxembourg - EMACS
(לוקסמבורג)

(aSPe, בלגיה) Unité d'analyse des systèmes et des pratiques d'enseignement

(ארה"ב) Westat

תוכן העניינים

5	פרק ראשון: מבוא
8	פרק שני: הגדרת התחום
12	פרק שלישי: ארגון התחום
12	א. הקשר הבעיה
13	ב. אופי מצב הבעיה
13	מצבי בעיה אינטראקטיביים
14	מצבי בעיה סטטיים
14	בעיות שאינן מוגדרות היטב
15	ג. תהליכי פתרון בעיות
16	מיומנויות היסק
17	פרק רביעי: הערכה של יכולת פתרון בעיות
17	ד. מבנה ההערכה
17	התפקודיות המסופקת על ידי המערכת הממוחשבת
18	ה. מאפייני המשימות ודרגות קושי
19	תצורת התשובות וקידודן
19	בעיות אינטראקטיביות
20	ו. התפלגות הפריטים
22	פרק חמישי: הדיווח על יכולת פתרון בעיות
23	פרק שישי: מטלות לדוגמה
24	מקורות
27	נספח א': סקירת המחקר על פתרון בעיות
27	יסודות היסטוריים ותיאורטיים
27	תפיסות מוקדמות
27	אסוציאציניזם
28	פסיכולוגיית הגשטלט
28	ג'ורג' פוליה
28	עיבוד מידע
29	כיווני מחקר נוכחיים בנושא פתרון בעיות
29	קבלת החלטות
30	היסק
31	אינטליגנציה ויצירתיות
31	הוראת מיומנויות חשיבה
32	פתרון בעיות על ידי מומחים
32	חשיבה על ידי אנלוגיה
32	פתרון בעיות מתמטיות ומדעיות
33	קוגניציה הקשרית
34	מדעי המוח הקוגניטיביים בפתרון בעיות
34	פתרון בעיות מורכבות
35	מסקנות
37	מקורות
41	נספח ב': קבוצת המומחים לפתרון בעיות

פרק ראשון: מבוא

1. יכולת פתרון בעיות היא יעד מרכזי בתכניות החינוכיות של מדינות רבות. רכישת רמה גבוהה יותר של יכולת פתרון בעיות מקנה בסיס ללמידה עתידית, להשתתפות אפקטיבית בחברה ולניהול פעילויות אישיות. תלמידים צריכים להיות מסוגלים ליישם את מה שלמדו על מצבים חדשים. חקר נקודות החוזק של יחידים בפתרון בעיות פותח צוהר ליכולותיהם להשתמש בחשיבה בסיסית ובגישות קוגניטיביות כלליות אחרות להתמודדות עם אתגרים בחיים (Lesh & Zawojewski, 2007).
2. פתרון בעיות היה תחום הערכה נוסף במחקר פיזה (PISA) 2003. להלן אחדים מהממצאים העיקריים של הסקר (OECD, 2004).
 - בחלק מהמדינות 70% מהתלמידים היו מסוגלים לפתור בעיות מורכבות יחסית, ולעומתן היו מדינות שבהן שיעור התלמידים שהיו מסוגלים לעשות זאת היה נמוך מ-5%.
 - ברוב המדינות יותר מ-10% מהתלמידים לא היו מסוגלים לפתור בעיות בסיסיות.
 - בממוצע, כמחצית התלמידים במדינות ה-OECD לא היו מסוגלים לפתור בעיות קשות יותר מבעיות בסיסיות.
 - היו הבדלים ניכרים בין מדינות מבחינת דפוסי ההבדלים בין מיומנויות פתרון הבעיות של התלמידים בתוך כל מדינה.
 - היו הבדלים ניכרים בין מדינות מבחינת דפוסי ההבדלים בין מיומנויות פתרון הבעיות ובין המיומנויות הקשורות לתחומים שונים (מתמטיקה, קריאה, מדעים) בתוך כל מדינה.
3. מאז פותחה המסגרת להערכת פתרון בעיות בשנת 2003 (OECD, 2003a), נערכו מחקרים רבים בתחומים של פתרון בעיות מורכבות, העברה, הערכת פתרון בעיות מבוססת מחשב והערכה רחבת היקף של יכולת פתרון בעיות (ראו למשל: Blech & Funke, 2005; Funke & Frensch, 2007; Greiff & Funke, 2008; Klieme, 2004; Klieme, Leutner, & Wirth, 2005; Leutner, Klieme, Meyer & Wirth, 2004; Mayer, 2002; Mayer & Wittrock, 2006; O'neil, 2002; Osman, 2010; Reeffer, Zabal & Blech, 2006; Wirth & Klieme, 2004). מחקרים אלה הובילו להתקדמות בהבנה ובמידה של יכולות לפתרון בעיות של יחידים.
4. שיפור כלים מתקדמים לפיתוח תוכנה ושימוש במחשבים מרושתים, אפשרו בנוסף לבצע את ההערכה ביתר יעילות, כולל היכולת להציג בעיות דינמיות ואינטראקטיביות, להביא את התלמידים לגלות עניין רב יותר ולקבל יותר מידע על מהלכו של תהליך פתרון הבעיות. לגבי נקודה זו של תהליך פתרון הבעיות ראוי לציין שהצגת משימות ההערכה באמצעות מחשב מאפשרת לתעד נתונים על סוגי הפעולות שהתלמידים מבצעים בתשובה לשאלות שונות, תכיפות הפעולות, משכן והרצף שבו הן מתבצעות.
5. יהיה אפוא נכון לשוב ולכלול פתרון בעיות כתחום הערכה במבחני פיזה, אבל יש לעשות זאת תוך בניית מסגרת חדשה ויישום מתודולוגיות הערכה נוספות שיאפשרו לתעד את יכולות

התלמידים בזמן אמת. הערכת פתרון בעיות במסגרת פיזה 2012 תהיה מבוססת-מחשב, והאינטראקטיביות של התלמיד עם הבעיה תהיה מרכיב מרכזי של המידע שייאסף.

6. הערכת פתרון בעיות במסגרת פיזה 2012 היא הערכה של יכולת פתרון הבעיות של התלמיד היחיד. מיומנויות פתרון בעיות תוך שיתוף פעולה – המיומנויות הדרושות לפתרון בעיות כחבר בקבוצה – חיוניות להצלחה במקום עבודה, שם היחיד הוא פעמים רבות חבר בצוות של מומחים בתחומים שונים הנמצאים באתרים שונים. עם זאת, בעיות מהותיות של מדידה עדיין עומדות בדרך להכללת משימות משותפות בסקרים בינלאומיים רחבי היקף כמו פיזה (Reeff, Zabal & Blech, 2006). הבעיה הבולטת ביותר היא כיצד להעניק נקודות זכות לחברים בקבוצה, אם יש צורך לעשות זאת, כיצד ליישב הבדלים בין קבוצות העלולים להשפיע על תוצאות ביצועי היחידים וכיצד להביא בחשבון הבדלים תרבותיים בדינמיקה הקבוצתית.

7. ממצא שחזר והופיע במחקרים הראה שפתרון בעיות תלוי בידע ובאסטרטגיות ייחודיים לתחום מסוים (ראו למשל: Mayer, 1992; Funke & Frensch, 2007).¹ בהערכת פיזה 2012 נמנעו ככל האפשר מהעיסוק בכך על-ידי התמקדות בפתרון בעיות במצבים מחיי היומיום, הדורש לכל היותר רמת ידע נמוכה ביותר בנושא מסוים או בתחום מסוים. זה גם מה שמבדיל בין ההערכה לבין משימות פתרון הבעיות במקצועות הליבה האורייניים של מבחני פיזה – קריאה, מתמטיקה ומדעים.

8. מסקנה נוספת שאפשר להסיק מסקירת המחקרים היא שבהערכת יכולת פתרון הבעיות במבחן פיזה 2012 יש להקצות מקום נכבד לבעיות אמיתיות, מורכבות יחסית, בייחוד כאלה הדורשות אינטראקציה ישירה מצד הפותר לצורך חשיפה וגילוי של מידע רלוונטי. דוגמאות לכך הן בעיות שנתקלים בהן פעמים רבות בחיי היומיום כשניגשים להשתמש במכשירים לא מוכרים כמו שלט-רחוק, מכשירים דיגיטליים אישיים (למשל טלפונים ניידים), מכשירים ביתיים ומתקנים לממכר מוצרים שונים. דוגמאות אחרות הן מצבים כמו פעילות גופנית, האכלת בעלי-חיים, גידול צמחים ואינטראקציות חברתיות. להשגת רמה גבוהה מהרמה הבסיסית בהתמודדות עם מצבים כאלה דרושות מיומנויות פתרון בעיות, ויש ראיות לכך שדרושות גם מיומנויות נוספות, מלבד אלה הנחשבות למיומנויות מסורתיות מבוססות-היגיון לפתרון בעיות (ראו למשל: Klieme, 2004). הצגת הבעיות באמצעות מחשב, תאפשר לכלול לראשונה "בעיות אינטראקטיביות" כאלה בסקר בינלאומי רחב היקף.

¹ סקירה כללית של מחקרים מדעיים בנושא פתרון בעיות על-ידי יחידים כלולה בנספח A. סקירה זו לא תיכלל בהכרח בפרסום הסופי של המסגרת.

9. התכנית של OECD להערכה בינלאומית של יכולות מבוגרים (Programme for International Assessment of Adult Competencies – PIAAC), היא הערכה של מיומנויות רכיבי קריאה, אוריינות קריאה, כישורים מתמטיים ופתרון בעיות בסביבות עתירות טכנולוגיה. הסקר, שייערך לראשונה בשנת 2012, הוא סקר פנים-אל-פנים מדגמי של משקי בית המיועד לגילאי 16-65.
10. הערכת "פתרון בעיות בסביבות עתירות טכנולוגיה" של PIAAC שונה מהערכת פתרון הבעיות של פיזה 2012 בשני היבטים חשובים². ראשית, עיקר עניינה הוא בעיות "עתירות-מידע". הדוגמאות להבדלים כוללות את הצורך למצוא ולהעריך מידע ברשת האינטרנט או באתרי רשתות חברתיות, לגלוש בדפי אינטרנט לא מוכרים ולהחליט איזה מידע רלוונטי ואיזה אינו רלוונטי לביצוע משימה.
11. הבדל חשוב נוסף הוא שפתרון הבעיות מצריך שימוש בתוכנות מחשב, אחת או יותר (ניהול קבצים, דפדפן ברשת, דואר אלקטרוני וגיליון עבודה אלקטרוני). טכנולוגיית מידע ותקשורת (ICT) היא חלק בלתי נפרד מהערכת פתרון הבעיות גם במבחן פיזה, אבל היא אינה חלק בלתי נפרד מהגדרת פתרון הבעיות. לביצוע הערכת פתרון הבעיות של מבחן פיזה דרושות רק מיומנויות בסיסיות של טכנולוגיית מידע ותקשורת (המבוססות על שימוש במקלדת ובעכבר). כלי תוכנה הם עזרים נפוצים ורבי עוצמה לפתרון בעיות עתירות-מידע, ובעידן הדיגיטלי שלנו רמה גבוהה של אוריינות בתחום טכנולוגיית המידע והתקשורת היא דבר חיוני. אולם מבחן פיזה מעריך מיומנויות פתרון בעיות מופשטות יותר, החיוניות להצלחה בפתרון בעיות עם או בלי עזרת טכנולוגיית מידע ותקשורת.

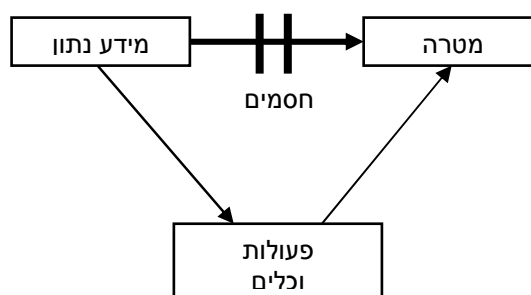
² תכנית PIAAC מגדירה פתרון בעיות בסביבות עתירות טכנולוגיה כך: "פתרון בעיות בסביבות עתירות טכנולוגיה מצריך שימוש בטכנולוגיה דיגיטלית, בכלי תקשורת וברשתות, להשגת מידע ולהערכתו, לתקשורת עם אחרים ולביצוע משימות מעשיות". (OECD, March 2009, p.7)

פרק שני: הגדרת התחום

12. מטרתה של הערכת פתרון הבעיות במחקר פיזה 2012 היא להעריך את יכולת פתרון הבעיות של היחיד. בטרם נגדיר מהי המשמעות של "יכולת פתרון בעיות" בהקשר זה, חשוב להבהיר את משמעות המושגים "בעיה" ו"פתרון בעיות" על פי חוקרים בתחום.

13. בעיה קיימת כאשר אדם ניצב בפני מטרה אך אינו יודע כיצד להשיגה (Duncker, 1945). הגדרה זו מומחשת באיור 1. המצב הנתון (מידע נתון) הוא הידע שיש לאותו אדם אודות הבעיה בתחילה, והפעולות הן הפעולות הקבילות שאדם יכול לבצע כדי להשיג את מצב המטרה הרצוי (תוצאות) בסיוע הכלים העומדים לרשותו. חסמים שעליהם יש לגבור (כגון היעדר ידע או אסטרטגיות ברורות מאליו) עומדים בדרך להשגת המטרה. בהתגברות על החסמים עשויים להיות מעורבים לא רק ההכרה (קוגניציה), אלא גם אמצעים מוטיבציוניים ורגשיים (Funke, 2010).

איור 1. מצב בעיה (על פי Funke & Frensch, 1995)



14. כדוגמה, ניתן לחשוב על בעיה פשוטה של מציאת הדרך המהירה ביותר בין שתי ערים, כאשר בידי הפותר מפת דרכים עם אומדנים של זמני נסיעה ומחשבון. המצב הנתון הוא המידע הנתון – מפה ללא מסלול מסומן, ומצב המטרה הוא התשובה הרצויה – הדרך המהירה ביותר. הפעולות המותרות (פעולות) הן בחירת דרך אפשרית, חישוב סך הזמן שלה, והשוואה בינה לבין זמנים של דרכים אחרות. לרשות הפותר כלי (מחשבון) המסייע בחיבור הזמנים.

15. בהתאם להבנה הזאת של משמעות המושג בעיה, Mayer (1990) מגדיר פתרון בעיות כעיבוד קוגניטיבי שתכליתו להפוך מצב נתון למצב מטרה, כאשר לא קיימת שיטה מובנת מאליה לפתרון. בקהילת החוקרים העוסקים בפתרון בעיות יש הסכמה נרחבת להגדרה זו (לדוגמה, ראו: Klieme, 2004; Mayer & Wittrock, 2006; Reeff, Zabal & Blech, 2006).

16. ההגדרה של יכולת פתרון בעיות במחקר פיזה 2012 מבוססת על משמעויות מקובלות אלו של "בעיה" ו"פתרון בעיות". היא מורכבת משני חלקים – הגדרה כללית, ומגבלה על תכולת ההערכה:

- יכולת פתרון בעיות היא היכולת של אדם לעסוק בעיבוד קוגניטיבי כדי להבין ולפתור מצבי בעיה היכן שלא קיימת שיטת פתרון מובנת מאליה. היא כוללת את הנכונות לעסוק במצבים אלה כדי לממש את הפוטנציאל של האדם כאזרח קונסטרוקטיבי וחושב.

- הערכת פיזה 2012 תתמקד בבעיות שפתרון דורש לכל היותר רמת ידע נמוכה ביותר בנושא מסוים.

17. אין זה מפתיע כי המשפט הראשון בהגדרה כמעט זהה לחלקה הראשון של ההגדרה שבה השתמשנו בהערכת פתרון הבעיות במחקר פיזה 2003³. אולם, בשעה שההגדרה מ-2003 הכילה ממד קוגניטיבי בלבד, וחלקה השני הבליט את אופייה הבין-תחומי של ההערכה, להגדרה המשמשת אותנו ב-2012 הוכנס מרכיב רגשי בעקבות הגדרת המושג יכולת (competency) כפי שהוכרה על ידי ה-OECD (2003a).
18. הדבר שמבדיל בין הערכת פתרון הבעיות בפיזה 2012 לבין ההערכה של 2003 הוא לאו דווקא האופן שבו אנו מגדירים מהי יכולת פתרון בעיות, או ההתמקדות בבעיות שפתרון דורש לכל היותר רמת ידע נמוכה בנושא מסוים, אלא מתכונת הביצוע של ההערכה בשנת 2012 (בהיותה מבוססת מחשב) והכללת בעיות שהנבדק אינו יכול לפתור מבלי לנהל אינטראקציה עם מצב הבעיה.
19. בסעיפים הבאים נדון בכל אחד ממרכיבי ההגדרה של יכולת פתרון בעיות במחקר פיזה 2012 לפי הסדר, כדי לסייע בהבהרת משמעותה של ההגדרה בהתייחס להערכה.

יכולת פתרון בעיות...

20. יכולת כרוכה בהרבה יותר משחזור בסיסי של ידע נצבר. היא כרוכה בגיוס כישורים קוגניטיביים ומעשיים, ביצירתיות, ובמשאבים פסיכולוגיים נוספים כמו עמדות, מוטיבציה וערכים (OECD, 2003b). הערכת יכולת פתרון הבעיות במחקר פיזה 2012 לא תבחן שחזור ידע גרידא בתחומים מסוימים, אלא תתמקד במיומנויות הקוגניטיביות הדרושות כדי לפתור בעיות בלתי מוכרות שעשויות להתעורר בחיים⁴ ומצויות מחוץ לתחומי המקצועות המסורתיים של תכנית הלימודים.
21. ידע מוקדם חשוב לפתרון בעיות. אולם, היכולת לפתור בעיות כרוכה ביכולת לרכוש ידע חדש ולהשתמש בו, או להשתמש בידע קיים בדרך חדשה, כדי לפתור בעיות שיש בהן חידוש (קרי, בעיות שאינן שגרתיות).

...היא היכולת של אדם לעסוק בעיבוד קוגניטיבי...

22. פתרון בעיות מתרחש באופן פנימי במערכת הקוגניטיבית של האדם, וניתן להסיק את התרחשותו רק בעקיפין דרך מעשיו ותוצריו של אותו אדם. פתרון בעיות כרוך בייצוג ובתפעול של סוגי ידע שונים במערכת הקוגניטיבית של הפותר (Mayer & Wittrock, 2006). תגובות התלמידים לפרטי ההערכה – אסטרטגיות החקירה שלהם, הייצוגים המשמשים אותם למידול הבעיה, תשובות מספריות ושאינן מספריות, או הסברים מורחבים על האופן שבו פתרו את הבעיה – כל אלה ישמשו כדי להגיע למסקנות באשר לתהליכים הקוגניטיביים שבאו לידי ביטוי בפתרון הבעיה.

³ "פתרון בעיות הוא היכולת של אדם ליישם תהליכים קוגניטיביים כדי להתמודד ולפתור מצבים רב-תחומיים מציאותיים, היכן שנתבי הפתרון אינו ניכר באופן מיידי והיכן שתחומי האוריינות או מקצועות הלימוד שעשויים לשמש אותו אינם שייכים לתחום יחיד של מתמטיקה, מדעים או קריאה" (OECD, 2003a, p. 156).

⁴ לרבות במסגרות חינוכיות ומקצועיות.

23. חשיבה יצירתית (מסתעפת) וחשיבה ביקורתית הנם מרכיבים חשובים של יכולת פתרון בעיות (Mayer, 1992). חשיבה יצירתית היא פעילות קוגניטיבית המביאה לידי מציאת פתרונות לבעיה שיש בה חידוש (novel problem). חשיבה ביקורתית מלווה חשיבה יצירתית ומשמשת לשקילת פתרונות אפשריים. ההערכה של פיזה תתמקד בשני מרכיבים אלה.

...כדי להבין ולפתור מצבי בעיה...

24. באיזו מידה מסוגלים אנשים להיענות לאתגרים שמציב בפניהם מצב של בעיה ולהתקדם לעבר פתרון הבעיה? בנוסף לתגובות המפורשות לפרטי המבחן, ההערכה שואפת למדוד את התקדמות המשיבים לעבר פתרון בעיה, לרבות האסטרטגיות שבהן הם משתמשים. במקרים הרלוונטיים, ניתן לגלות אסטרטגיות אלו בעזרת נתונים התנהגותיים הנקלטים במערכת הממוחשבת שמספקת את המבחן: הסוג, התדירות, משך הזמן והרצף של האינטראקציות עם המערכת, נרשמים במערכת ויכולים לשמש לציון או לניתוח ביצועי התלמיד אחרי המבחן.

25. פתרון בעיות מתחיל בהכרה בקיומו של מצב בעיה, ובגיבוש הבנה בנוגע למהותו של מצב זה. הוא מחייב את הפותר לזהות מה הן הבעיות הספציפיות שעליו לפתור, לתכנן פתרון ולבצע אותו, לצד מעקב והערכת התקדמותו לאורך הפעילות.

26. בעולם האמיתי, קורה לא פעם שאין פתרון בלעדי או מדויק לבעיה מסוימת. בנוסף לכך, מצב הבעיה עשוי להשתנות לאורך תהליך הפתרון, ואפשר שהדבר יקרה עקב אינטראקציה של הבעיה עם הפותר, כתוצאה מאופייה הדינמי. מורכבויות אלו יטופלו בעת בניית מטלות ההערכה, ויתבקש איזון בין האוטנטיות של המצב לבין הפרקטיות של ההערכה.

...היכן שלא קיימת שיטת פתרון מובנת מאליה...

27. צריך שהאמצעי למציאת הנתיב לפתרון לא יהיה מובן מאליו לפותר הבעיה. יהיו חסמים מסוגים שונים בדרך, או מידע חסר. ההערכה תתרכז בבעיות בלתי שגרתיות, ולא בבעיות שגרתיות (כלומר, בעיות אשר בבירור ניתן ליישם בהן הליך פתרון שנלמד בעבר): פותר הבעיה חייב לחקור באופן פעיל את הבעיה ולהבינה, ואז לתכנן אסטרטגיה חדשה או ליישם אסטרטגיה שנלמדה בהקשר אחר כדי להתקדם למציאת הפתרון.

28. הגדרת הבעיה כבעיה שגרתית או לא שגרתית תלויה בהיכרותו של הפותר עם הבעיה. "בעיה" עבור אדם אחד יכולה להעלות פתרון מובן מאליו לאדם אחר, שכבר התנסה בעבר בבעיות מסוג זה ותרגל דרכים לפתרונן. לאור זאת, יש להקפיד לנסח בעיות שיהיו בלתי שגרתיות עבור רוב בני ה-15.

29. אין הכרח שההקשר או המטרות יהיו בלתי מוכרים לפותר. הדבר החשוב הוא שיהיה חידוש כלשהו בבעיות, או שהדרכים להשגת המטרות לא תהיינה ברורות מאליהן באופן מיידי. ייתכן שפותר הבעיה יידרש לחקור או לנהל אינטראקציה עם מצב הבעיה בטרם ינסה לפתור אותה. אינטראקציה ישירה תתאפשר במחקר פיזה 2012 הודות לשימוש במערכות ממוחשבות להערכה.

...היא כוללת את הנכונות לעסוק במצבים אלה...

30. פתרון בעיות הוא תהליך אישי ומכוון, כלומר, העיבוד שמבצע פותר הבעיה מונחה על ידי מטרותיו האישיות (Mayer & Wittrock, 2006). הידע והכישורים האישיים של הפותר מסייעים לקבוע באיזה קושי או קלות הוא יוכל להתגבר על מכשולים לפתרונות. עם זאת, הפעלת הידע או הכישורים הללו מושפעת מגורמים של מוטיבציה ומגורמים רגשיים, כמו אמונות (כגון ביטחון עצמי) ורגשות כלפי מידת העניין של הפותר בפתרון הבעיה וכלפי היכולת שלו לפתור אותה (Mayer, 1998).

31. בנוסף, ההקשר של הבעיה (האם היא מוכרת ומובנת), המשאבים החיצוניים הזמינים לפותר (כגון נגישותם של כלים), והסביבה שבה הוא פועל (לדוגמה, מצב של מבחן) ישפיעו על האופן שבו הוא ייגש לבעיה ויעסוק בה.

32. גורמים של מוטיבציה ורגש לא יימדדו בהערכת פתרון הבעיות, אך כמה מהם יטופלו באופן כללי, או בהתייחס למתמטיקה באופן ספציפי, בשאלון לתלמיד.

...כדי לממש את הפוטנציאל של האדם כאזרח קונסטרוקטיבי וחושב...

33. יכולת היא גורם חשוב באופן שבו אנשים עוזרים לעצב את העולם, לא רק להתמודד אתו: "...יכולות מרכזיות יכולות להועיל הן לפרט והן לחברה" (Rychen & Salganik, 2003). אנשים צריכים "לנהל את חייהם בדרכים משמעותיות ואחריות על ידי הפעלת שליטה על תנאי חייהם ותנאי עבודתם" (שם). אנשים נדרשים להיות פותרי בעיות מיומנים כדי לממש את הפוטנציאל שלהם כאזרחים קונסטרוקטיביים, מעורבים וחושבים.

...הערכת פיזה 2012 תתמקד בבעיות שפתרון דורש לכל היותר רמת ידע נמוכה ביותר

בנושא מסוים.

34. לאור התלות של פתרון בעיות בידע ובאסטרטגיות בנושאים מסוימים (לדוגמה: Mayer, 1992; Funke & Frensch, 2007), לכל היותר תידרש רמת ידע בסיסית בנושא או במקצוע לימוד מסוימים כדי להבין את הבעיות ולפתור אותן. בעיות שעשויות באופן סביר להיכלל באחד מתוך שלושת מחקרי פיזה למקצועות הליבה, לא ייכללו בהערכה זו, ובאופן כללי ייעשה שימוש במגוון רחב של הקשרים מחיי היומיום כדרך לשלוט בהשפעה של ידע מוקדם.

פרק שלישי: ארגון התחום

35. האופן שבו התחום יוצג ויאורגן יקבע את תוכנית ההערכה, ובסופו של דבר, את העדויות לגבי בקיאות התלמיד, שניתן יהיה לאסוף ולדווח עליהן. למבנה התחום מרכיבים רבים – לא את כולם ניתן להביא בחשבון ולא את כולם ניתן להציג באופן מגוון במסגרת הערכה מן הסוג של מחקר פיזה. יש לבחור את המרכיבים החשובים ביותר שניתן להציג בהם גיוון, כדי להבטיח שההערכה תכיל טווח קושי נכון של הפריטים ותספק כיסוי רחב של התחום.

36. להלן מרכיבי התחום החשובים ביותר להערכת פיזה 2012 לפתרון בעיות:

- הקשר הבעיה: האם היא כרוכה בכלי טכנולוגי או לא, והאם מוקד הבעיה אישי או חברתי.
- אופי מצב הבעיה: האם האופי אינטראקטיבי או סטטי.
- תהליכי פתרון הבעיה: התהליכים הקוגניטיביים המעורבים בפתרון הבעיה.

37. המטלות יהיו בנויות כך שימדדו את רמת הביצוע של התלמידים בשעה שהם מפעילים תהליכים קוגניטיביים שונים לפתרון בעיות בשני סוגים של מצבי בעיה, במגוון הקשרים. כל אחד ממרכיבי התחום המרכזיים הללו יידון ויומחש בסעיפים הבאים. מאפייני המטלות עצמן יידונו בפרק הרביעי.

א. הקשר הבעיה

38. ההיכרות של האדם עם ההקשר של הבעיה והבנת ההקשר ישפיעו על מידת הקושי שלו בפתרון הבעיה. שני ממדים הוגדרו כדי להבטיח שמטלות ההערכה ישקפו מדגם של מגוון הקשרים אותנטיים השייכים לתחומי העניין של בני 15: ההקשר (טכנולוגי או לא) והמוקד (אישי או חברתי).

39. בעיות הממוקמות בהקשר טכנולוגי מבוססות על התפקוד של מכשיר טכנולוגי. בין הדוגמאות: טלפון נייד, שלט-רחוק של מכשיר ביתי ומכונה אוטומטית למכירת כרטיסים. לא יידרש ידע על דרכי הפעולה הפנימיות של מכשירים אלה: באופן טיפוסי, הבעיות יובילו את הפותרים לחקור ולהבין את תפקוד המכשיר, כהכנה לשליטה במכשיר או לפתרון תקלה בו. מצבים שעולים מהם סוגים אחרים של בעיות, כגון תכנון מסלול, הכנת לוח זמנים למטלות וקבלת החלטות, ממוקמים בהקשר לא טכנולוגי.

40. הקשרים אישיים קשורים בעיקר לעצמי, למשפחה ולקבוצת הגיל. הקשרים חברתיים קשורים למצבים בקהילה או בחברה כולה. לדוגמה, ההקשר של פריט העוסק בכוונן השעה בשעון דיגיטלי יסווג כ'טכנולוגי' ו'אישי', ואילו ההקשר של פריט הדורש בניית סגל שחקנים בקבוצת כדורסל יסווג כ'לא טכנולוגי' ו'חברתי'.

ב. אופי מצב הבעיה

41. דרך הצגת הבעיה משפיעה רבות על האופן שבו אפשר לפתור אותה. השאלה אם נמסר לפותר מידע מלא מלכתחילה חשובה באופן מכריע. זהו המקרה של בעיית המסלול המהיר ביותר, שנידונה קודם (ראו סעיף 14). אנו מתייחסים למצבי בעיה כאלה כאל מצבים סטטיים.
42. המצב ההפוך הוא מצב בעיה אינטראקטיבי, והמשמעות היא שקיימת אפשרות לחקור את המצב כדי לגלות מידע רלוונטי נוסף⁵. ניווט בזמן אמת בעזרת מערכת איכון לוויינית (GPS), כאשר עומסי תנועה מדווחים אוטומטית או לפי בקשה, הוא מצב מסוג זה.
43. אפשר לדמות מצבי בעיה אינטראקטיביים במסגרת מבחן באמצעות מחשב. הכללת מצבי בעיה אינטראקטיביים בהערכת פתרון הבעיות של פיזה 2012 מאפשרת להציג מגוון רחב של תרחישים אותנטיים הלקוחים מהחיים האמיתיים, יותר משניתן לעשות זאת במבחנים של נייר ועיפרון. בעיות שבהן התלמיד חוקר את סביבת ההדמיה ושולט בה יהיו מאפיין ייחודי של ההערכה.
44. ההערכה תכלול גם מבחר מצבי בעיה סטטיים. הערכת בעיות מסוג זה התבצעה בעבר במבחני נייר ועיפרון רגילים. אולם, להערכת בעיות מסוג זה באמצעות מבחן ממוחשב יתרונות רבים, ובהם היכולת להציג מגוון רחב יותר של תרחישים, שימוש במרכיבי מולטימדיה כמו הנפשה, זמינותם של כלים מקוונים והשימוש במגוון רחב של תבניות תשובה שניתן לקודד אוטומטית.
45. לטענת מחקרים מסוימים, רכישת ידע המתרחשת תוך כדי חקירת בעיה בסביבה אינטראקטיבית, והדרך שבה מיישמים ידע זה, הן יכולות הנבדלות מן המיומנויות הטיפוסיות הכרוכות בפתרון בעיות סטטיות (ראו: Klieme, 2004; Wirth & Klieme, 2004; Leutner & Wirth, 2005). התמהיל של בעיות אינטראקטיביות וסטטיות בהערכת פיזה 2012 יספק מדד רחב יותר ליכולת פתרון בעיות מכפי שהתאפשר באמצעים של נייר ועיפרון.

מצבי בעיה אינטראקטיביים

46. מצבי בעיה אינטראקטיביים נוצרים פעמים רבות כאשר נתקלים לראשונה בחפצים שונים בעולם האמיתי, כמו מכונות אוטומטיות למכירת כרטיסים, מערכות מיזוג אוויר או טלפונים ניידים, במיוחד אם הוראות השימוש לאותם מכשירים אינן ברורות או לא זמינות. ההבנה כיצד להשתמש במכשירים אלה היא בעיה שבה נתקלים אנשים בכל העולם בחיי היומיום. במצבים אלה קורה לא פעם שמידע רלוונטי מסוים אינו ניכר לעין במבט ראשון. לדוגמה, ייתכן שהתוצאה של פעולה מסוימת (לחיצה על כפתור בשלט-רחוק למשל) אינה ידועה או שלא ניתן להסיקה, ויש לבררה באמצעות אינטראקציה עם התרחיש, על ידי ביצוע הפעולה בפועל (לחיצה על הכפתור) וגיבוש השערה לגבי תפקידה על סמך התוצאה. באופן כללי, חייבים לבצע חקירה או התנסות ברמה מסוימת כדי לרכוש את הידע הנחוץ לשליטה במכשיר. תרחיש נפוץ

⁵ המונח "intransparent", משמש לעתים לתיאור בעיות שבהן לא מספקים לפותר את המידע המלא אודות מצב הבעיה בתחילה (ראו Funke & Frensch, 1995).

נוסף הוא כאשר אדם נדרש לאתר תקלות או קלקולים במכשיר ולטפל בהם. כאן חייבים לעסוק במידה מסוימת של ניסוי וטעייה כדי לאסוף נתונים על הנסיבות שבהן המכשיר מתקלקל.

47. מצב בעיה אינטראקטיבי יכול להיות דינמי, ומשמעו שהמצב עשוי להשתנות מעצמו עקב השפעות שהן מעבר לשליטתו של פותר הבעיה (כלומר, ללא התערבות של פותר הבעיה)⁶. לדוגמה, במקרה של מכונה אוטומטית למכירת כרטיסים, אם במהלך פעולה לא לוחצים על אף כפתור למשך 20 שניות, המכונה עשויה להתאפס. התנהגות אוטונומית כזאת של המערכת מחייבת תצפית והבנה, על מנת שאפשר יהיה להביאה בחשבון כאשר פועלים להשגת היעד (רכישת כרטיס).

מצבי בעיה סטטיים

48. מצבי בעיה סטטיים יכולים ליצור בעיות מוגדרות היטב (*well-defined*) או שאינן מוגדרות היטב (*ill-defined*). בבעיה מוגדרת היטב, כמו בעיית המסלול הקצר ביותר (ראו סעיף 14), המצב הנתון, מצב המטרה והפעולות המותרות מצוינים בבירור (Mayer & Wittrock, 2006). מצב הבעיה אינו דינמי (קרי, הוא אינו משתנה מעצמו תוך כדי פתרון הבעיה), כל המידע הרלוונטי נמסר מלכתחילה וקיימת מטרה אחת.

49. דוגמאות נוספות של בעיות מוגדרות היטב הן *חידות היגיון* מהסוג המסורתי, כמו "מגדל האנוני" וחידות כדי המים (ראו לדוגמה, Robertson, 2001); *בעיות של קבלת החלטות*, שבהן הפותר נדרש להבין מצב הכרוך במספר חלופות ומגבלות מוגדרות היטב, ולקבל החלטה העונה על המגבלות (לדוגמה, בחירת משכך הכאבים הנכון, כאשר ניתנים פרטים מספיקים על המטופל, על תלונתו ועל משככי הכאבים הזמינים); *ובעיות של בניית לוח זמנים*, כמו בניית בית או יצירת תוכנית מחשב, כאשר ניתנת לפותר רשימת המטלות עם משכי זמן ויחסי התלות בין המטלות.

בעיות שאינן מוגדרות היטב

50. החוקרים Mayer and Wittrock (2006) מציינים כי "חומרים חינוכיים שמים דגש על פי רוב על בעיות מוגדרות היטב, אף שרוב הבעיות במציאות אינן מוגדרות היטב". בעיות מציאותיות כרוכות פעמים רבות בכמה מטרות סותרות, כך שההתקדמות לעבר מטרה אחת עשויה לגרום מההתקדמות לעבר אחרת (או אחרות). על פותר הבעיה לעבד ולשקול עדיפויות כדי להשיג איזון בין המטרות (Blech & Funke, 2010). דוגמה לכך היא מציאת הדרך "הטובה ביותר" בין שני מקומות – האם זו צריכה להיות הדרך הקצרה ביותר? הדרך שסביר כי תהיה המהירה ביותר? הדרך הישירה ביותר? הדרך הטובה ביותר מבחינת זמן הגעה מובטח? וכו'. דוגמה מורכבת יותר היא לתכנן מכונית שתכונותיה הרצויות הן יעילות גבוהה, עלות נמוכה, בטיחות גבוהה והשפעה נמוכה על הסביבה.

⁶ המונח "דינמי" משמש חוקרים מסוימים לתיאור כל מערכת פיזית מדומה שפותר הבעיה יכול לפעול מולה ולקבל משוב. במקרים כאלה, מצבי בעיה המשתנים באופן אוטונומי מכונים לעיתים "eigendynamic" (לדוגמה, ראו Blech & Funke, 2005).

ג. תהליכי פתרון בעיות

51. חוקרים שונים רואים את התהליכים הקוגניטיביים המעורבים בפתרון בעיות בדרכים שונות, אך יש קווים משותפים רבים בין השקפותיהם. התהליכים המתוארים להלן נגזרים מהעבודה על פתרון בעיות והיסק (reasoning), שנעשתה על ידי פסיכולוגים קוגניטיביים (לדוגמה, Baxter Mayer & ;Mayer & Wittrock, 1996; Bransford et al, 1999; & Glaser, 1997 Polya 1945). בנוסף, הובאו בחשבון עבודות מהשנים האחרונות בנושא פתרון בעיות מורכבות ודינמיות (Greiff & Funke ;Funke & Frensch, 2007; Blech & Funke, 2005, 2010; Wirth & Klieme, ;Reeff, Zabal & Blech, 2006; Osman, 2010; Klieme, 2004; 2008). (2004).

52. איננו מניחים שהתהליכים המעורבים בפתרון בעיה מסוימת מתרחשים ברצף, או שכל התהליכים שמנינו הכרחיים כדי לפתור בעיה מסוימת. כאשר אנשים מתמודדים, בונים, מייצגים ופותרים בעיות אותנטיות, המביאות לידי ביטוי כישורים חדשים הנדרשים בחיים, הם עשויים לגשת לבעיה בדרך שחורגת מגבולותיו של מודל ליניארי במבנה של צעד אחר צעד. רוב המידע אודות תפקוד המערכת הקוגניטיבית באדם תומך כיום בדעה שלפיה המערכת הקוגניטיבית מסוגלת לעבד מידע באופן מקביל (Lesh & Zawojewski, 2007).

53. למטרות הערכת פתרון הבעיות של פיזה 2012, אלה התהליכים הנחשבים למעורבים בפתרון בעיות:

- חקירה והבנה
- ייצוג וניסוח
- תכנון וביצוע
- ניטור והערכה (רפלקציה)

54. **חקירה והבנה.** המטרה כאן היא לבנות ייצוגים מנטאליים של כל אחד מפריטי המידע המוצגים בבעיה. תהליך זה כרוך בפעולות הבאות:

- **חקירת מצב הבעיה:** התבוננות בה; אינטראקציה עמה; חיפוש מידע; מציאת מגבלות או מכשולים; וכן
- **הבנת מידע נתון ומידע המתגלה תוך כדי אינטראקציה עם מצב הבעיה;** הפגנת הבנה של המושגים הרלוונטיים.

55. **ייצוג וניסוח.** המטרה כאן היא לבנות ייצוג מנטאלי קוהרנטי של מצב הבעיה (כלומר, מודל של המצב או של הבעיה). כדי לעשות זאת, יש לבחור את המידע הרלוונטי, לארגן אותו באופן מנטאלי, ולשלב אותו עם ידע קודם רלוונטי. תהליך זה עשוי להיות כרוך בפעולות הבאות:

- **"יצוג הבעיה על ידי בניית ייצוגים בצורת טבלאות, גרפיקה, סמלים או מלל, ומעבר בין תבניות הייצוג השונות; וכן**

- ניסוח השערות על ידי זיהוי הגורמים הרלוונטיים בבעיה ויחסי הגומלין ביניהם; ארגון והערכה ביקורתית של המידע.

56. **תכנון וביצוע.** כולל את הפעולות הבאות:

- **תכנון,** המורכב מהצבת מטרות, לרבות זיהוי המטרה העיקרית וקביעת תתי-מטרות לפי הצורך; כמו כן יש לגבש תוכנית או אסטרטגיה כדי להגיע למצב המטרה, לרבות המהלכים שיש לבצע; וכן
- **ביצוע,** המורכב מיישום התוכנית.

57. **ניטור הערכה כוללים:**

- **ניטור** ההתקדמות לעבר המטרה בכל שלב, לרבות בדיקת תוצאות הביניים והתוצאות הסופיות, זיהוי אירועים בלתי צפויים, ונקיטת פעולה מתקנת בעת הצורך; וכן
- **הערכה של** הפתרונות מנקודות מבט שונות; בחינה ביקורתית של ההנחות; וחיפוש מידע נוסף או הבהרות.

מיומנויות היסק

58. כל אחד מן התהליכים בפתרון בעיות מתבסס על **מיומנות היסק** (*reasoning skill*) אחת או יותר. בהבנת מצב הבעיה, אפשר שפותר הבעיה יצטרך להבדיל בין עובדות לדעות; בניסוח הפתרון, ייתכן שיהיה עליו לזהות קשרים בין משתנים; בבחירת האסטרטגיה, ייתכן שיהיה על פותר הבעיה לשקול סיבה ותוצאה; ובהצגת התוצאות, ייתכן שיהיה עליו לארגן את המידע בצורה הגיונית. מיומנויות ההיסק הקשורות לתהליכים אלה מוטמעות בתהליך פתרון הבעיות. חשיבותן רבה בהקשר של מחקר פיזה, מכיוון שאפשר ללמד ולעצב אותן באמצעות הוראה בכיתה (לדוגמה, Adey et al, 2007; Klauer & Phye, 2008).

59. דוגמאות למיומנויות היסק המיושמות בפתרון בעיות כוללות דדוקציה ואינדוקציה, ויכולת היסק כמותית, מתאמית, אנלוגית, צירופית (combinatorial) ורב-ממדית. מיומנויות ההיסק הללו אינן מוציאות זו את זו, ופעמים רבות, בפועל, פותר בעיות עוברים מהאחת לאחרת באיסוף ראיות ובבחינת נתיבי פתרון אפשריים, טרם שהם מחליטים להשתמש בשיטה אחת על פני האחרות למציאת הפתרון לבעיה נתונה. בתכנון פריטי ההערכה יש לכלול מדגם רחב של מיומנויות היסק, היות שסביר כי הן ישפיעו על דרגת הקושי של הפריטים.

פרק רביעי: הערכה של יכולת פתרון בעיות

א. מבנה ההערכה

60. משך סקר ההערכה הראשי יהיה 40 דקות. בסך הכול יהיו חומרים באורך של 80 דקות, המחולקים לארבעה אשכולות של 20 דקות, וכל תלמיד יבצע שני אשכולות לפי דגם של סבב מאוזן. בניסוי השטח תיכלל כמות חומרים כפולה לערך. אפשר להעריך שהסקר הראשי יכלול 20-25 פריטים, שליש מתוכם יהיו פריטי ניקוד חלקי. מידע לגבי תזמון, שיירשם אוטומטית במהלך ניסוי השטח, ישמש לקביעת מספר הפריטים שניתן לכלול בפועל.
61. כנהוג בהערכות פיזה, הפריטים יקובצו ליחידות סביב גירוי משותף שיתאר את מצב הבעיה. כדי שרמת אוריינות הקריאה הדרושה תהיה מינימלית, חומרי הגירוי (והיגדי המשימה) יהיו ברורים, פשוטים וקצרים ככל האפשר. ייעשה שימוש בהנפשה, בצילומים או בתרשימים כדי להימנע מקטעי מלל ארוכים. גם הדרישות לכישורים מתמטיים יישמרו ברמה נמוכה, למשל על ידי מתן סכומי החיבור של מספרים היכן שהדבר נדרש.
62. ההערכה תכלול מדגם רחב של פריטים במגוון של דרגות קושי, באופן שיאפשר לקבוע את החוזקות והחולשות של אוכלוסיות ושל תתי-קבוצות עיקריות ביחס לתהליכים הקוגניטיביים הכרוכים בפתרון בעיות.

השימושים שהמערכת הממוחשבת מספקת

63. אחד היתרונות העיקריים במדידה של יכולת פתרון בעיות באמצעות מחשב הוא ההזדמנות לאסוף ולנתח נתונים הקשורים לתהליכים ולאסטרטגיות, בנוסף ליכולת לרשום ולנקד תוצאות ביניים ותוצאות סופיות. להערכתנו תהיה בכך תרומה משמעותית להערכת פתרון הבעיות במחקר פיזה 2012. עם פריטים כתובים כהלכה, אפשר שהמערכת תרשום נתונים כמו סוג, משך הזמן והרצף של הפעולות שמבצעים התלמידים.
64. יתרון נוסף הוא שניתן לעקוב אחר משך הזמן שהתלמידים מקדישים לכל פריט ולהגבילו. ניתן להשתמש בתכונה זו במקרים המתאימים, כמו למשל כדי להגביל את הזמן שניתן לתלמידים לחקירת מצב בעיה מורכב (או, במילים אחרות, להגבלת הזמן שהתלמידים מבזבזים על שלב זה).
65. לצורכי ההערכה, ההנחה תהיה שלתלמידים יש כישורי טכנולוגיית מידע ותקשורת (ICT) ברמה בסיסית בלבד, כמו שימוש במקלדת, שימוש במצביע (כגון עכבר), לחיצה על כפתורים, פעולת גרירה ושחרור, גלילה, ושימוש בתפריטים נפתחים ובהיפר-קישורים. יש להקפיד ולוודא שהדרישות לכישורי ICT ויישומן יפריעו למדידה של יכולת פתרון הבעיות באופן מינימאלי.
66. הן היחידות והן הפריטים בתוך היחידות יוצגו בסדר קבוע, בשיטה המכונה "הצעדה" ("lockstep"). הליך הצעדה משמעו שהתלמידים אינם רשאים לחזור אל פריט או יחידה מרגע שעברו אל הפריט הבא. בכל פעם שהתלמיד ילחץ על 'הבא', תופיע תיבת דו-שיח שתזהיר אותו כי הוא עומד לעבור לפריט הבא ולא יוכל לשוב לפריט הקודם. בשלב זה, התלמיד יכול לאשר שברצונו לעבור הלאה, או לבטל את הפעולה ולשוב אל הפריט הנוכחי.

ב. מאפייני המשימות ודרגות קושי

67. באופן כללי, כל פריט יתמקד בתהליך יחיד של פתרון בעיות ככל שהדבר אפשרי. בהתאם לכך, בחלק מהפריטים, די בכך שהתלמיד יראה שהוא מזהה את הבעיה, ובאחרים, די שיתאר את שיטת הפתרון. ברבים מן הפריטים התלמיד יידרש לספק פתרון או פתרונות בפועל, כאשר האפקטיביות והיעילות של שיטתו יהיו מאפיינים חשובים, ואילו באחרים, המשימה תהיה להעריך פתרונות מוצעים ולתאר את הפתרון ההולם ביותר לבעיה שהוצגה. אף שבהוראה בכיתה מושם דגש פעמים רבות על הביצוע, הקשיים הרבים ביותר עבור רוב פותרי הבעיות קשורים להצגה, לתכנון ולבקרה עצמית (Mayer, 2003).

68. יש בעיות שמטבען הן מורכבות יותר מאחרות (Funke & Frensch, 2007). בנוסף, מורכבות רבה יותר משמעה לרוב שדרגת הקושי גבוהה יותר. טבלה 1 מסכמת את מאפייני המשימות שיופיעו בהערכה באופן מגוון, כדי לוודא שהפריטים מכסים טווח מתאים של דרגות קושי.

טבלה 1. מאפייני המשימות

מאפיין	השפעה על דרגת הקושי של המשימה
כמות המידע	ככל שהפותר נדרש להביא בחשבון מידע רב יותר, כך סביר שהמשימה תהיה קשה יותר.
הצגת המידע	צורות הצגה בלתי מוכרות, וכמה צורות הצגה יחד (במיוחד אם צריך למצוא קשר בין פריטי המידע), נוטות להעלות את רמת הקושי.
גילוי מידע	ככל שיותר מידע רלוונטי לא נמסר מלכתחילה, ולכן הפותר נדרש לגלותו (לדוגמה, תוצאה של פעולות, התנהגות אוטונומית, מכשולים בלתי צפויים), כך סביר שהמשימה תהיה קשה יותר.
מורכבות פנימית	המורכבות הפנימית של מצב בעיה תגדל ככל שידגל מספר המשתנים ויתרבו קשרי התלות ביניהם. משימות בעלות מורכבות פנימית גבוהה, סביר שיהיו קשות יותר ממשימות בעלות מורכבות פנימית נמוכה.
אילוצים שיש להביא בחשבון	מטלות עם מעט אילוצים על ערכי המשתנים, סביר שיהיו קלות יותר מאלו שצריכות לקיים אילוצים רבים.
המרחק מהמטרה	ככל שמספר הצעדים הדרושים לפתרון הבעיה רב יותר, כך סביר שיהיה קשה יותר להגיע לפתרון.
מיומנויות ההיסק הדרושות	בעיות המחייבות ליישם סוגים מסוימים של מיומנויות היסק (כגון היסק צירופי - combinatorial) סביר שיהיו קשות יותר מאלה שאינן מחייבות זאת.

תצורת התשובות וקידודן

69. תצורת התשובה עבור 75% מהפריטים לפחות תאפשר קידוד אוטומטי מיידי. תצורה כזאת כוללת פריטים רב-ברירתיים פשוטים ומורכבים, שניתן להשיב עליהם בלחיצה על לחצני אפשרויות, פריטים הדורשים לבחור צורות ולגרור אותן למקומן, פריטים שבהם בוחרים מתוך תפריטים נפתחים כדי למלא תאים של טבלה, ופריטים הדורשים לסמן חלקים בתרשימים.
70. יהיה שימוש בפריטים עם תשובות פתוחות היכן שהדבר הכרחי, כגון במקרה שיש חשיבות לבקש מהתלמידים להסביר את שיטתם או להצדיק את הפתרון. בפריטים אלה, התלמידים יכתבו את תשובותיהם בתיבות טקסט.
71. התשובות המובנות ייאספו אוטומטית על ידי המערכת הממוחשבת, ותפותח מערכת קידוד מקוונת כדי לאפשר למומחים לנקד את התשובות. שיטה זו מבטלת את הצורך ברישום נתונים נפרד, ממזערת את הצורך בניקוי נתונים, ומאפשרת לבצע את ניקוד התשובות הרחק מאתר המבחן במקרה הצורך.
72. שיטת הקידוד עבור פריט תאפשר לקבל ניקוד חלקי במקרה הרלוונטי, כמו למשל כאשר דרושות כמה תשובות נכונות לקבלת ניקוד מלא, או כאשר הפותר השתמש באסטרטגיה הנכונה אך לא ביצע אותה כהלכה. התנהגויות קבועות מראש (כדוגמת אסטרטגיות חקירה) המספקות עדויות מהימנות לגבי יכולת פתרון הבעיות מעל ומעבר למילוי דרישות המטלה, יתועדו במערכת ויתרמו לצייון.

בעיות אינטראקטיביות

73. ניתן לבנות בעיות אינטראקטיביות על יסוד מודלים מתמטיים, ולשנות את הפרמטרים שלהן באופן שיטתי לקבלת דרגות קושי שונות. קיימות שתי פרדיגמות שכיחות: *משוואות הפרשים ליניאריות* (*linear difference equations*) ו*מכונות מצבים סופיות* (*finite state machines*).
74. במצבי בעיה הבנויים לפי הדגם של משוואות הפרשים ליניאריות (הידועות גם כמשוואות מבניות ליניאריות)⁷, פותר הבעיה חייב להפעיל מניפולציה על אחד או יותר ממשתני הקלט (כגון בקורות במערכת בקרת אקלים) ולתת את דעתו להשפעה שתהיה לפעולתו על אחד או יותר ממשתני הפלט (כגון הטמפרטורה והלחות); משתני הפלט יכולים גם להשפיע על עצמם, כך שהמערכת דינמית. דוגמאות להקשרים כאלה: מכשיר שלט-רחוק, תרמוסטט, ערבוב צבעים ומערכות אקולוגיות.
75. *מכונות מצבים סופיות* היא מערכת בעלת מספר סופי של מצבים, אותות קלט ואותות פלט (Buchner & Funke 1993)⁸. המצב הבא של המערכת (ואות הפלט) נקבע בלעדית על ידי מצבה הנוכחי ועל ידי אות הקלט הספציפי. כאשר מצבי בעיה בנויים על מודל של מכונות מצבים סופיות, פותר הבעיה חייב לספק אותות קלט (לרוב בצורה של רצף לחיצות על כפתורים) כדי לקבוע מה תהיה ההשפעה על מצבי המערכת, בניסיון להבין את המבנה הבסיסי

⁷ ראו Greiff & Funke (2008), המשתמשים במונח MicroDYN כדי לתאר מערכות אלה. יישום מוקדם יותר של מערכת כזאת ידוע בשם *Dynamis* – ראו Blech & Funke (2005).

⁸ מכונות מצבים סופיות למטרות ההערכה יושמו תחת השם "MicroFin" – ראו http://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg_en/forschun/problem1.html

שלה ולהתקדם לעבר מצב המטרה. רבים מהמכשירים וההקשרים בחיי היומיום נשלטים או מוגבלים על ידי כללי המבנה של מכונת מצבים סופית. בין הדוגמאות ניתן לציין שעונים דיגיטליים, טלפונים ניידים, תנורי מיקרוגל, נגני MP3, מכונות אוטומטיות למכירת כרטיסים ומכונות כביסה.

76. להלן דרישות המטלה הטיפוסיות לבעיות אינטראקטיביות מסוג זה (לפרטים נוספים, ראו: Blech & Funke, 2005; Greiff & Funke, 2008):

- **חקירה.** רכישת ידע על מבנה המערכת על ידי חקירה פעילה או מכוונת (אינטראקציה).
[אסטרטגיות החקירה יכולות להיות מתועדות על ידי המערכת הממוחשבת].
- **זיהוי.** יצירת ייצוג של המודל המנטאלי של המערכת, שנוצר במהלך החקירה, או השלמתו. שלב זה יכול להיעשות בשרטוט או במלל. [הדיוק של המודל מסייע בהערכת הידע הסיבתי שנרכש].
- **בקרה.** יישום מעשי של הידע הנרכש: הפיכת מצב נתון למצב מטרה, וכן (במערכות הרלוונטיות) שמירה על מצב המטרה לאורך זמן. ניתן לספק לפותר מודל נכון של המערכת כדי למזער את התלות בפריטים קודמים. [בדרך זו ניתן להעריך את העברת הידע הנרכש].
- **הסבר.** תיאור האסטרטגיות ששימשו להשגת המטרה; הסבר פעולת המערכת; או הצעת גורמים לתקלה במכשיר.

77. אפשר שלתלמידים כבר יש מושג בנוגע לקשרים בין משתני המערכת במצבי בעיה, הודות להיכרותם עם מכשירים דומים אמיתיים. ידע קודם כזה שונה מתלמיד לתלמיד, ולכן ייעשה שימוש במגוון הקשרים של בעיות יומיומיות נפוצות כדי לסייע להתגבר על השפעה זו בהערכה. בנוסף לכך, ההערכה תכלול כמה הקשרים נוספים, שונים מהרגיל ודמויי משחק, שבהם נדרש הפותר להסיק לגבי הקשרים אך ורק באמצעות מניפולציה וצפייה במשתני המערכת.

78. דרגת הקושי בבעיות מסוג זה תלויה במידה רבה במורכבותם הפנימית של המודלים המתמטיים העומדים ביסוד המצבים המוצגים. ניתן לבנות בעיות בדרגות קושי שונות על ידי שינוי שיטתי של מורכבות זו, הנקבעת על ידי מספר המשתנים ואופן הקישור ביניהם. לדוגמה, בעיה הכרוכה במספר משתנים קטן בלבד יכולה להיות קלה מאוד אם היא כרוכה רק בהשפעות ישירות בין משתני הקלט למשתני הפלט, אך אפשר להפכה לבעיה קשה במיוחד אם כוללים השפעות מרובות והשפעות נלוות בין משתני הפלט.

ג. התפלגות הפריטים

79. בטבלה 2 מוצגת ההתפלגות המומלצת של הנקודות בציון באחוזים, בהתאם לתהליכים הקוגניטיביים המעורבים בפתרון בעיות. המשקל הרב ביותר ניתן לתכנון וביצוע, מתוך הכרה בחשיבות של היכולת להתמיד בתהליך הפתרון עד להצלחה ולקבלת תוצאה. משקל נמוך מן הממוצע ניתן לתהליך הניטור וההערכה, מכיוון שזהו חלק בלתי נפרד משלושת התהליכים האחרים ועל כן הוא מוערך (בעקיפין) גם בפריטים שמתמקדים בתהליכים אלה.

טבלה 2. התפלגות נקודות הציון לפי תהליך

חקירה והבנה	ייצוג וניסוח	תכנון וביצוע	ניטור והערכה	סה"כ
20–25%	20–25%	35–45%	10–20%	100%

80. טבלה 3 מציינת את ההתפלגות המומלצת של הפריטים בין שני מרכיבים עיקריים נוספים של התחום – הקשר הבעיה ואופי מצב הבעיה⁹. הדגש הברור על בעיות אינטראקטיביות על פני בעיות סטטיות (יחס של 2 ל-1 לערך) משקף את הכוונה שההערכה תתרכז בסוג חשוב זה של בעיות, אשר הודות למערכת הממוחשבת ניתן לכלול אותן לראשונה בסקר בינלאומי בקנה מידה גדול.

טבלה 3. התפלגות הפריטים לפי אופי הבעיה והקשרה

	הקשר טכנולוגי		
	הקשר שאינו טכנולוגי	הקשר טכנולוגי	
מצב בעיה סטטי	20–25%	5–10%	25–35%
מצב בעיה אינטראקטיבי	25–30%	40–45%	65–75%
	45–55%	45–55%	100%

⁹ שימו לב ששני סיווגים אלה יוקצו ברמת היחידה ויחולו על כל הפריטים ביחידה.

פרק חמישי: הדיווח על יכולת פתרון בעיות¹⁰

81. הציפייה היא שניתן יהיה לזהות ולתאר לכל הפחות ארבע רמות של מיומנות, כדי להראות כיצד יכולת פתרון הבעיות של התלמידים גדלה ומתפתחת וכדי לאפשר השוואות ביצועים בין תלמידים ממדינות משתתפות שונות ובתוך כל מדינה. הסקר הראשי לא יכיל די פריטים כדי לדווח על סולמות משנה.

82. כדי לפתח את תיאורי המיומנות המאפיינים את ביצועיהם של תלמידים טיפוסיים בכל רמה, ינותחו הידע והמיומנויות הדרושים כדי להשיב על הפריטים באותה רמה. יש לצפות שהיכולות הבאות יאפיינו תלמידים בעלי רמת ביצוע גבוהה:

- היכולת לתכנן ולבצע פתרונות הכרוכים במספר צעדים רב יחסית, וליישם מגוון רחב של מיומנויות היסק.
- היכולת להתמודד עם מצבים הכרוכים במשתנים רבים, כאשר קיימת תלות חזקה בין המשתנים או שישנם אילוצים רבים על ערכי המשתנים.
- היכולת להבין ולמצוא קשר בין פריטי מידע המוצגים במגוון ייצוגים מוכרים או בלתי מוכרים.
- היכולת לפעול באינטראקציה עם בעיות כדי לגלות מידע שלא נמסר או כדי לטפל במכשולים בלתי צפויים.

83. תלמידים בעלי רמת ביצועים נמוכה יותר צפויים להיות בעלי המאפיינים הבאים:

- לכל היותר מסוגלים לתכנן ולבצע פתרונות הכרוכים במספר קטן של צעדים ובהיסק פשוט.
- לא מסוגלים להבין מידע שמוצג בייצוגים בלתי מוכרים או למצוא קשר בין פריטי מידע המוצגים בצורות מוכרות.
- מסוגלים להתקדם מעט או לא להתקדם כלל בפתרון בעיה, אלא אם כן היא כרוכה במשתנה אחד או שניים בלבד, ובין משתנה יחסי תלות מצומצמים ביותר וללא אילוצים.
- מסוגלים לגלות מידע שלא נמסר רק אם ניתנות הוראות המנחות בפעילות החקירה.

¹⁰ פריטים נוספים יתווספו כאשר נקבל לידינו את תוצאות ניסוי השטח.

פרק שישי: מטלות לדוגמה¹¹

84. שעון דיגיטלי

מוצגת הדמיה של שעון דיגיטלי. השעון נשלט באמצעות ארבעה כפתורים, שתפקידיהם אינם ידועים לתלמיד בתחילת הבעיה. התלמיד מתבקש: (ש1) לקבוע באמצעות חקירה מודרכת מהי פעולת הכפתורים במצב 'שעה'; (ש2) להשלים תרשים המראה כיצד לנוע בין מצבי הפעולה השונים; וכן (ש3) להשתמש בידע זה כדי לשלוט בשעון (לכוון את השעה).

- הקשר הבעיה: טכנולוגי, אישי
- אופי הבעיה: אינטראקטיבי
- תהליכים בפתרון הבעיה: (ש1) חקירה והבנה; (ש2) ייצוג וניסוח; (ש3) תכנון וביצוע
- מיומנויות היסק: מתאמיות, רב-מימדיות

85. חופשה

בעיה זו נכללה בהערכת פתרון הבעיות במבחן פיזה 2003 שנערכה באמצעות נייר ועיפרון, והותאמה לביצוע במחשב. התלמיד מקבל מפת דרכים ולוח מרחקים עם פרט חסר. התלמיד מתבקש: (ש1) לחשב את המרחק החסר; וכן (ש2) לתכנן מסלול בין שתי ערים מסומנות, בהתחשב באילוף של הגבלת מרחק הנסיעה המותר בכל יום.

- הקשר הבעיה: אישי, לא טכנולוגי
- אופי הבעיה: סטטי
- תהליכים לפתרון הבעיה: (ש1) תכנון וביצוע; (ש2) תכנון וביצוע;
- מיומנויות היסק: צירופיות, כמותיות

¹¹ לאחר שתיעשה בחירת המטלות לסקר הראשי, יתווספו לפרק זה מטלות מניסוי השטח שיוחלט לא להשתמש בהן בסקר הראשי, וחלק מהדוגמאות יהיו פזורות לאורך הטקסט עם הפניות להמחשת עיקרי הדיון.

מקורות

- Adey, P., Csapo, B., Demetriou, A., Hautamäki, J. & Shayer, M., (2007). Can we be intelligent about intelligence? Why education needs the concept of plastic general ability. *Educational Research Review* 2, 75–97.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J. & Wittrock, M. C. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- Baxter, G. P. & R. Glaser (1997). An approach to analysing the cognitive complexity of science performance assessments (Technical Report 452), National center for Research on Evaluation, Standards and Student Testing (CRESST), Los Angeles, CA.
- Blech, C. & Funke, J. (2005). Dynamis review: An overview about applications of the Dynamis approach in cognitive psychology. Bonn: Deutsches Institut für Erwachsenenbildung (available at http://www.die-bonn.de/esprid/dokumente/doc-2005/blech05_01.pdf).
- Blech, C. & Funke, J. (2010). You cannot have your cake and eat it, too: How induced goal conflicts affect complex problem solving. *Open Psychology Journal* 3, 42–53.
- Bransford, J. D., Brown, A. OL. & Cockling, R. R. (Eds.) (1999). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Academy Press: Washington, DC.
- Buchner, A. & Funke, J. (1993). Finite-state automata: Dynamic task environments in problem-solving research. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 46A (1), 83–118.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs* 58 (3) (Whole No. 270).
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and Reasoning*, 2001, 7 (1), 69–89
- Funke, J. (2009). Complex problem solving: A case for complex cognition? Published online: 10 November 2009 (available from <http://www.springerlink.com/content/5351p55145n255h3/>)
- Funke, J. (2010). Complex problem solving: A case for complex cognition? *Cognitive Processing* 11, 133–142.
- Funke, J. & Frensch, P. A. (2007). Complex problem solving: The European perspective – 10 years after. In D. H. Jonassen (Ed.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems* (pp. 25–47). New York: Lawrence Erlbaum.
- Greiff, S. & Funke, J. (2008). *Indikatoren der Problemlöseleistung: Sinn und Unsinn verschiedener Berechnungsvorschriften. Bericht aus dem MicroDYN Projekt [Measuring Complex Problem Solving: The MicroDYN approach]*. Heidelberg: Psychologisches Institut.
- Klauer, K. & Phye, G., (2008). Inductive reasoning: a training approach. *Review of Educational Research*, 78 (1), 85–123

Klieme, E. (2004). Assessment of cross-curricular problem-solving competencies. In J.H. Moskowitz and M. Stephens (Eds.), *Comparing Learning Outcomes. International Assessments and Education Policy* (pp. 81–107). London: Routledge Falmer.

Klieme, E., Leutner, D. & Wirth, J. (Eds.). (2005). *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA 2000 Studie* [Problem-solving competency of students. Assessment approaches, theoretical basics, and empirical results of the German PISA 2000 study]. Wiesbaden, Germany: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Lesh, R. & Zawojewski, J. S. (2007). Problem solving and modeling. In F. Lester (Ed.), *The Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (2nd ed.) (pp. 763–804). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics; Charlotte, NC: Information Age Publishing (joint publication).

Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2004). Problemlösen [Problem solving]. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (PISA-Konsortium Deutschland) (Eds.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (pp. 147–175). Münster, Germany: Waxmann.

Leutner, D. & Wirth, J. (2005). What we have learned from PISA so far: a German educational psychology point of view. *KEDI Journal of Educational Policy* 2 (2), 39–56.

Mayer, R.E. (1990). Problem solving. In M. W. Eysenck (Ed.), *The Blackwell Dictionary of Cognitive Psychology* (pp. 284–288). Oxford: Basil Blackwell.

Mayer, R. E. (1992). *Thinking, Problem solving, Cognition* (2nd Ed.). New York, NY: Freeman.

Mayer, R. E. (1998). Cognitive, metacognitive, and motivational aspects of problem solving. *Instructional Science* 26, 49–63.

Mayer, R.E. (2002). A taxonomy for computer-based assessment of problem solving. *Computers in Human Behavior* 18, 623–632.

Mayer, R. E. (2003). *Learning and Instruction*. Upper Saddle River, NJ: Merrill prentice Hall.

Mayer, R. E. & Wittrock, M. C. (1996). Problem-solving transfer. In R. Calfee & R. Berliner (Eds.), *Handbook of Educational Psychology* (pp. 47–62). New York: Macmillan.

Mayer, R. E. & Wittrock, M. C. (2006) Problem Solving. In P. A. Alexander and P. H. Winne (Eds.), *Handbook of Educational Psychology (2nd ed.)* (ch. 13). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

OECD. (2003a). *The PISA 2003 Assessment Framework. Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills*. Paris: OECD.

OECD. (2003b). The definition and selection of competencies (DeSeCo): Executive summary of the final report. Paris: OECD.
<http://www.oecd.org/dataoecd/47/61/35070367.pdf>

- OECD. (2004). *Problem Solving for Tomorrow's World. First Measures of Cross Curricular Competencies from PISA 2003*. Paris: OECD.
- OECD. (March 2009). PIAAC problem solving in technology rich environments: Conceptual framework. Paris: OECD.
- O'Neil, H. F. (2002). Perspectives on computer-based assessment of problem solving. *Computers in Human Behavior* 18, 605–607.
- Osman M. (2010). Controlling uncertainty: A review of human behavior in complex dynamic environments. *Psychological Bulletin* 136, 65–86.
- Pólya, G. (1945). *How to Solve It*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Reeff, J.-P., Zabal, A. & Blech. C. (2006). *The Assessment of Problem-Solving Competencies. A Draft Version of a General Framework*. Bonn: Deutsches Institut für Erwachsenenbildung. (Retrieved May 8, 2008, from http://www.die-bonn.de/espid/dokumente/doc-2006/reeff06_01.pdf).
- Robertson, S. I. (2001). *Problem Solving*. East Sussex: Psychology Press.
- Rychen D. S. & Salganik, L. H. (Eds.). (2003). *Key Competencies for a Successful Life and a Well-Functioning Society*. Göttingen, Germany: Hogrefe and Huber.
- Vosniadou, S. & Ortony, A. (1989). *Similarity and Analogical Reasoning*. New York: Cambridge University Press.
- Wirth, J. & Klieme, E. (2004). Computer-based assessment of problem solving competence. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice* 10(3), 329–345.

נספח א': סקירת המחקר על פתרון בעיות¹

יסודות היסטוריים ותיאורטיים

1. המחקר הפסיכולוגי על פתרון בעיות החל בראשית המאה העשרים כענף שיצא מהפילוסופיה של הנפש (mental philosophy) (Humphrey, 1963; Mandler & Mandler, 1964). לאורך המאה העשרים התפתחו ארבע גישות תיאורטיות: תפיסות מוקדמות, אסוציאציוניזם, פסיכולוגיית גשטאלט, ועיבוד מידע (Mayer, בדפוס).

תפיסות מוקדמות

2. ניתן לקבוע את ראשיתה של הפסיכולוגיה כתחום מדעי בשנת 1879 – השנה שבה וילהלם וונדט פתח את מעבדת הפסיכולוגיה הראשונה בעולם בלייפציג שבגרמניה, במטרה להכשיר את קבוצת הפסיכולוגים הראשונה בעולם החוקרת באמצעות ניסויים מדעיים. אולם, תרומתו העיקרית של וונדט לחקר פתרון הבעיות הייתה דווקא בקריאתו לאסור על העיסוק בתחום זה, בטענה שתהליכים קוגניטיביים מורכבים הם מסובכים מכדי שאפשר יהיה לחקורם בשיטות של ניסוי מדעי (Wundt, 1911/1973). למרות התנגדותו, קבוצה מבין תלמידיו לשעבר – שמאוחר יותר כונתה קבוצת וורצבורג – ביקשה לחקור את החשיבה על ידי כך שביקשה מתלמידים לתאר את תהליך החשיבה שלהם תוך כדי פתרון בעיות של קישור בין מילים, כמו למשל חיפוש מילת סיווג המכילה "עיתון" (לדוגמה, תשובה אפשרית היא "פרסומים"). אף שקבוצת וורצבורג לא ניסחה גישה תיאורטית חדשה, היא גילתה עדויות אמפיריות שקראו תיגר על כמה מן ההנחות הבסיסיות של הפילוסופיה של הנפש, לרבות הטלת ספק ברעיון שכל חשיבה כרוכה בדימויים מנטאליים.

אסוציאציוניזם

3. משנות ה-20 ועד שנות ה-50 של המאה העשרים, הגישה התיאורטית החשובה הראשונה שקנתה לה אחיזה בחקר המדעי בפתרון בעיות הייתה האסוציאציוניזם (associationism) – הרעיון שייצוגים קוגניטיביים בתודעה מורכבים מרעיונות ומקשרים ביניהם, וכי העיבוד הקוגניטיבי במוח מתנהל לפי שרשרת של קישורים (אסוציאציות) מרעיון אחד לשני (Mandler & Mandler, 1964; Mayer, 1992). לדוגמה, במחקר קלאסי, ת'ורנדייק (Thorndike, 1911) הכניס חתול רעב לקופסה שאותה כינה תיבת חידה – קופסה מעץ עם לולאת חוט תלויה מלמעלה, שכאשר החתול מושך בה, נפתחת דלת סתרים והחתול יכול לצאת החוצה אל קערת מזון שנמצאת מחוץ לקופסה. לדברי ת'ורנדייק, במשך הניסויים הרבים החתול למד לצאת מהקופסה באמצעות תהליך שנקרא בפיו חוק התוצאה (law of effect): תגובות שמובילות לאי שביעות רצון מתקשרות פחות למצב, ותגובות שמובילות

¹ למעט החומרים הנוגעים לפתרון בעיות מורכבות, סקירה זו הוכנה על ידי Rich Mayer בפברואר 2010. החלק על פתרון בעיות מורכבות נגזר ברובו מעבודתם של Funke and Frensch (2007). פרופ' מאייר (אוניברסיטת קליפורניה, סנטה ברברה) ופרופ' פונקה (אוניברסיטת היידלברג, גרמניה) הם חברי קבוצת המומחים לפתרון בעיות של פיזה 2012.

לשביעות רצון מתקשרות יותר למצב. פתרון בעיה אינו אלא עניין של ניסוי וטעייה והצלחה מקרית, לפי ההשקפה האסוציאציוניסטית של ת'ורנדייק. אחד האתגרים הגדולים לתיאוריית האסוציאציוניזם נוגע למושג ההעברה (transfer) – כלומר, איך להסביר כיצד פותר בעיה ממציא פתרון יצירתי שלא בוצע מעולם קודם לכן. תפיסות אסוציאציוניסטיות של הקוגניציה באות לידי ביטוי במחקרים של ימינו, לרבות בתחום הרשתות העצביות, במודלים קישוריים, ובמודלים של עיבוד המתפלג במקביל (parallel distributed processing) (Rogers & McClelland, 2004).

פסיכולוגיית הגשטאלט

4. גישת הגשטאלט לפתרון בעיות התפתחה בשנות ה-30 וה-40 של המאה העשרים כתגובת נגד לגישה האסוציאציוניסטית. לפי גישת הגשטאלט, ייצוגים קוגניטיביים מורכבים ממבנים לכידים (ולא מאסוציאציות בודדות) והתהליך הקוגניטיבי של פתרון בעיות כרוך בבניית מבנה לכיד (ולא בחיזוק או החלשה של אסוציאציות). דגש עיקרי מושם על הרעיון של תובנה – כיצד פותר בעיות מתקדמים מאי ידיעה כיצד לפתור בעיה אל הידיעה כיצד לפתור אותה (Duncker, 1945; Mayer, 1995). לדוגמה, במחקר קלאסי, קוהלר (Kohler, 1925) ערך תצפיות על קוף רעב בחצר משחקים, וראה כיצד הוא מגלה איך לערום ארגזים זה על גבי זה כדי להגיע לבננה שתלויה מעל. קוהלר כינה את המנגנון הבסיסי שפעל כאן כתובנה (insight) – במקור, במשמעות המילולית של התבוננות לתוך מבנה הבעיה. אחת הביקורות העיקריות על תיאוריית הגשטאלט היא היעדר הדיוק שלה. אפשר להבחין בתפיסות גשטאלט במחקרים מודרניים על סכמות ומודלים מנטאליים (Gentner & Stevens, 1983).

ג'ורג' פוליה

5. ג'ורג' פוליה נולד בהונגריה בשנת 1887 והיגר לארה"ב בשנת 1940. הוא היה מתמטיקאי נודע, ועד מהרה התפרסם בזכות מחקריו ורעיונותיו על פתרון בעיות באוניברסיטת סטאנפורד. בספרי הלימוד שלו, *How to Solve It* (1957), שפורסם לראשונה ב-1945, ו-*Mathematical Discovery* (1965), חילק פוליה את תהליך פתרון הבעיות לארבעה שלבים: (1) הבנת הבעיה, (2) בניית תוכנית, (3) ביצוע התוכנית, ו-(4) התבוננות לאחר. תרומה חשובה של עבודתו של פוליה הייתה הגילוי שלו שפתרון בעיות הוא מיומנות נלמדת: "ניתן ללמוד זאת על ידי חיקוי ותרגול בלבד" (Polya, 1965, p. ix). בהתבססו בעיקר על דוגמאות של פתרון בעיות מתמטיות, הציע פוליה היוריסטיקות רבות לפתרון בעיות, ובהן חשיבה על בעיה קשורה, פיצול הבעיה לחלקים, וניסוח מחדש של פריטי המידע הנתונים או של המטרה.

עיבוד מידע

6. גישת עיבוד המידע לפתרון בעיות התפתחה בשנות ה-60 וה-70 של המאה העשרים והתבססה על דימוי של מחשב – הרעיון שבני אדם הם מעבדי מידע (Mayer, 2009). לפי גישת עיבוד המידע, פתרון בעיות כרוך בסדרה של חישובים מנטאליים – כל אחד מהם מורכב

מהפעלת תהליך על ייצוג מנאטלי (כגון השוואה בין שני אלמנטים כדי לקבוע אם הם שונים זה מזה). בספרם הקלאסי, *Human Problem Solving*, הציעו Newell and Simon (1972) את הרעיון שפתרון בעיות כרוך במרחב הבעיה (*problem space*) – ייצוג של כל מצבי הביניים בין המצב הנתון למצב המטרה, ובחיפוש היוריסטי – אסטרטגיות להגעה מהמצב הנתון למצב המטרה. Newell and Simon השתמשו בהדמיות מחשב כשיטת מחקר לבחינת תפיסתם לגבי פתרון בעיות אנושי, ויצרו תוכניות מחשב שפתרו בעיות בעזרת אסטרטגיות המחקות שיטות אנושיות. יתרון חשוב של גישת עיבוד המידע הוא שניתן לתאר את פתרון הבעיות בבחירות רבה – בצורת תוכנית מחשב. מגבלה חשובה של גישת עיבוד המידע היא שהיא שימושית יותר לתיאור פתרון בעיות במקרה של בעיות מוגדרות היטב, אך לא במקרה של בעיות שאינן מוגדרות היטב. תפיסת הקוגניציה כתהליך של עיבוד מידע ממשיכה להתקיים כיום כאבן יסוד במדעים הקוגניטיביים (Mayer, 2009).

קווי מחקר נוכחיים בנושא פתרון בעיות

7. חקר תחום פתרון הבעיות מתנהל כיום באופן מפוצל במידת מה, ונושאים שונים נחקרים במבודד יחסית זה מזה. קווי המחקר העיקריים בתחום פתרון הבעיות כוללים את הנושאים הבאים: קבלת החלטות, היסק, אינטליגנציה ויצירתיות, הוראת מיומנויות חשיבה, פתרון בעיות על ידי מומחים, חשיבה על ידי אנלוגיה, פתרון בעיות מתמטיות ומדעיות, קוגניציה הקשרית (*situated cognition*), מדעי העצב הקוגניטיביים (*cognitive neuroscience*) ופתרון בעיות מורכבות.
8. מוטיב משותף עבור חלק מקווי המחקר המגוונים הללו לחקר פתרון בעיות הוא הרעיון שרמת הביצוע בפתרון בעיות תלויה בידע של פותר הבעיה, לרבות ידע בתחום מסוים (Mayer & Wittrock, 2006). מוטיב משותף נוסף נוגע לתפקידה של מערכת עיבוד המידע האנושית – לרבות מגבלות חמורות של קיבולת זיכרון העבודה.

קבלת החלטות

9. קבלת החלטות מתייחסת לעיבוד קוגניטיבי הכרוך בבחירה בין שתי חלופות או יותר (Markman & Medin, 2002; Kahneman & Tversky, 2000; Barron, 2000). לדוגמה, מטלה של קבלת החלטה היא לבחור בין (א) סיכוי של 85% לזכות ב-\$1,000 (עם סיכוי של 15% לזכות באפס), לבין (ב) קבלת \$800 בוודאות.
10. המחקר על קבלת החלטות הביא לפיתוחן של ארבע תיאוריות – תיאוריות פרסקריפטיביות (*prescriptive theories*), תיאוריות תיאוריות, תיאוריות היוריסטיות, ותיאוריות קונסטרוקטיביות. תיאוריות פרסקריפטיביות – הנקראות לעתים תיאוריות כלכליות – אומרות מה אנשים צריכים לעשות אם הם רציונליים לחלוטין. תיאוריות פרסקריפטיביות – כמו תיאוריית הערך הצפוי – מנבאות שאנשים יבחרו בחלופה הראשונה, מפני שהערך הצפוי שלה גבוה יותר (\$850) מזה של החלופה השנייה (\$800); למרות זאת, המחקר הפסיכולוגי מראה

שאנשים מעדיפים את החלופה השנייה (Kahneman & Tversky, 1984). תיאוריות תיאוריות מתארות מה אנשים עושים בפועל כאשר הם ניצבים מול מטלות החלטה. תיאוריות תיאוריות – כמו תיאוריית הערך – מבוססות על הרעיון שאנשים מעדיפים להימנע מהפסד יותר מאשר לזכות ברווח שווה-ערך, ושנשים נוטים להפריז בערכן של הסתברויות קטנות ולהמעיט בערכן של הסתברויות גדולות. לדוגמה, רוב האנשים יעדיפו זכייה בטוחה בסכום של \$3,000 על פני סיכוי של 80% לזכות ב-\$4,000, אך רוב האנשים יעדיפו סיכוי של 80% להפסיד \$4,000 על פני הפסד בטוח של \$3,000 (Kahneman & Tversky, 1979). תיאוריות היריסטיות מתבססות על ממצאים אלה ומתמקדות באסטרטגיות הקשורות לתחום מסוים, שאותן אנשים מיישמים כדי להחליט החלטות (Gigerenzer et al., 1999). לדוגמה, רוב האנשים מחליטים שסביר יותר שהאות "R" תופיע כאות הראשונה במילה באנגלית מאשר כאות השלישית (Tversky & Kahneman, 1973). ההסבר הוא שהם משתמשים בהיריסטיקת הזמינות (*availability heuristic*), לפיה קל יותר לחשוב על מילים שמתחילות באות "R" מאשר לחשוב על מילים שהאות "R" מופיעה בהן כאות שלישית. תיאוריות קונסטרוקטיביות מתבססות גם הן על ממצאים אלה, ומתמקדות בקבלת ההחלטות כתהליך של בניית מודל מנטאלי לכיד של המצב. לדוגמה, אנשים רבים אומרים שהם היו קונים כרטיס חדש לקולנוע במחיר \$10 אילו גילו שאבד להם סכום של \$10, אך לא סביר שהיו קונים כרטיס חדש במחיר \$10 אילו גילו שאבד להם הכרטיס שכבר רכשו (Kahneman & Tversky, 1984). אחד ההסברים לממצא זה הוא שאנשים עוסקים בחשבונאות מנטאלית, לפיה הם איבדו את הכסף לכרטיס בתרחיש השני, אך לא בראשון.

11. מוטיב חשוב בתיאוריות האמפיריות הנוכחיות של קבלת החלטות נוגע לתפקידם המרכזי של הידע בתחום מסוים ושל העיבוד הקוגניטיבי, שאנשים מביאים למטלת קבלת ההחלטה. מוטיב מרכזי נוסף הוא שאנשים משתמשים באסטרטגיות של קיצורי דרך כדי להתגבר על המגבלות של עיבוד המידע הנובעות ממערכת המידע האנושית, ולכן סומכים על מה שכונה על ידי Simon (1982) 'אפשרות המניחה את הדעת' (*satisficing*) – בחירת אפשרות קבילה העומדת בקריטריונים של האדם.

היסק

12. המושג היסק (*Reasoning*) מתייחס לקביעה אם מסקנה עולה מתוך הנחה מסוימת (Evans, 2005; Johnson-Laird, 2005). לדוגמה, ניתן לבחון היסק מותנה (conditional reasoning) באמצעות הבעיה הבאה של הפיכת כרטיסים: "אם בצדו האחד של כרטיס מופיעה אות המסמנת תנועה, בצדו האחר יופיע מספר זוגי. בחר את הכרטיסים שתהיה חייב להפוך כדי לגלות אם הם מפרים את הכלל: A D 4 7" (Wason, 1966). המחקר מראה שאנשים מצליחים יותר כאשר בעיית הפיכת הכרטיסים מוצגת בהקשר קונקרטי, לדוגמה: "אם אדם שותה בירה, הוא חייב להיות מעל גיל 19. בחר את הכרטיס או הכרטיסים שעליך להפוך בהכרח כדי לקבוע אם אנשים מפרים את הכלל או לא. שתיית בירה, שתיית קולה, בני 16, בני 22". (Griggs & Cox, 1982). מחקר שנערך לאחר מכן הראה שאנשים מצליחים יותר כאשר נושא הבעיה הקונקרטית כרוך בגילוי רמאים (Cosmides, 1989) או בבקשת רשות (Cheng

(Holyoak, 1985). על יסוד סדרת חקירות אמפיריות, תיאוריית המודל המנטאלי של Johnson-Laird (2005) מספקת הסבר דומה להיסק דדוקטיבי, שבו אנשים בונים מודלים מנטאליים קונקרטיים של המצב המתואר בהנחת היסוד. ממצאים אלה מצביעים על כך שההיסק הוא ספציפי לתחום מסוים, כלומר הרעיון שאנשים משתמשים בהקשר הקונקרטי של הבעיה כדי להנחות את ביצוע ההיסק שלהם במקום ליישם את אותם כללים לוגיים כלליים בכל הבעיות.

אינטליגנציה ויצירתיות

13. המחקר על אינטליגנציה ויצירתיות בוחן את תפקידם של הבדלים בין-אישיים ביכולת הקוגניטיבית האנושית של פתרון בעיות (Guilford, 1967; Sternberg, 1990, 1999; Sternberg & Grigorenko, 2003). המחקר הפסיכומטרי בוחן את המתאמים בין מבחנים קוגניטיביים (Carroll, 1993), היות שעדויות לאינטליגנציה כללית (או מה שכונה g) אמורות לבוא לידי ביטוי במתאמים גבוהים בין כל המבחנים הקוגניטיביים. אולם, ניתוחי גורמים (וכלים סטטיסטיים דומים) מגלים שקיים מספר רב של גורמים ייחודיים קטנים יותר, כגון צורות של יכולת מילולית, יכולת מתמטית, ויכולת מרחבית (Carroll, 1993; Sternberg, 1999). המחקר המודרני במדעים קוגניטיביים מתמקד בזיהוי מרכיבים של תהליכים המסייעים לביצוע במבחני אינטליגנציה, כולל ניתוח מטלות קוגניטיביות הכרוכות בביצוע פריטים במבחני אינטליגנציה וזיהוי הבדלים בין-אישיים במערכת עיבוד המידע בהקשר של הישגים במבחן קוגניטיבי. עבודה זו מבליטה את תפקידו של ידע הספציפי לתחום (domain-specific knowledge) ושל העיבוד בביצועים הקוגניטיביים, כמו גם את האופן שבו החשיבה של אנשים תלויה בארכיטקטורה של מערכת עיבוד המידע האנושית.

הוראת מיומנויות חשיבה

14. המחקר על הוראת מיומנויות חשיבה מתמקד בהדרכה שמסייעת לאנשים להיות פותרי בעיות טובים יותר (Bloom & Broder, 1950; Covington, Crutchfield, Davies, & Olton, 1974; Nickerson, 1999; Ritchhart & Perkins, 2005). לדוגמה, Bloom and Broder (1950) לימדו סטודנטים במכללה לפתור בעיות בכלכלה על ידי צפייה בסטודנט המדגים פתרון בעיות תוך חשיבה בקול רם. בדומה, Covington, Crutchfield Davies, and Olton (1974) לימדו תלמידי בית ספר יסודי לפתור תעלומות על ידי כך שביקשו מהם לקרוא ספרי קומיקס המדגימים כיצד להעלות ולבחון השערות בנוגע לתעלומות מסוגים שונים. הממצא שעלה באופן עקבי היה שההדרכה לפתרון בעיות נוטה להיות אפקטיבית יותר כאשר היא מתמקדת במיומנויות הספציפיות הדרושות למטלה (כגון העלאת השערות ובדיקתן), כאשר המיומנויות מודגמות על ידי פותר בעיות מוצלח, וכאשר הבעיות במבחן דומות לאלה שהוצגו בהדרכה. אין עדויות משמעותיות לכך שאפשר ללמד אנשים אסטרטגיות כלליות לפתרון בעיות שישפרו את ביצועיהם במגוון של מצבי בעיה (Nickerson, 1999; Ritchhart & Perkins, 2005). לפיכך, נושא חשוב במחקר על הוראת מיומנויות למידה הוא חקירת תפקידו ידע הספציפי לתחום כגורם המסייע לפתרון בעיות.

פתרון בעיות על ידי מומחים

15. המחקר על פתרון בעיות על ידי מומחים עוסק בהשוואה בין הדרך שבה מומחים פותרים בעיות לבין דרכם של חסרי הניסיון (de Groot, 1965; Chase & Simon, 1973; Ericsson, Feltovich, & Hoffman, 2006). לדוגמה, שחקני שחמט מומחים, לעומת שחקנים לא מנוסים, מסוגלים לזכור את מיקומם של כלי המשחק על לוח שחמט ממשחק אמיתי, אך ההבדל בין המומחים לחסרי הניסיון נעלם כאשר מניחים את הכלים באופן אקראי על פני הלוח (Chase & Simon, 1973). בדומה לכך, כאשר מוצג לוח שחמט ממשחק אמיתי והשחקן מתבקש לבצע את המהלך הבא, המומחים לא שוקלים מספר מהלכים רב יותר מאשר חסרי הניסיון, אך הם שוקלים מהלכים טובים יותר מחסרי הניסיון (de Groot, 1965). המחקר על פיתוח מומחיות מראה כי מומחים חייבים לעסוק בתרגול מעשי במשך עשר שנים לערך כדי לרכוש את בסיס הידע הדרוש לפתרון בעיות כמומחים, אולם הידע הדרוש להצלחה בתחום אחד לא מועבר בקלות לתחום אחר (Ericsson, Feltovich, & Hoffman, 2006).
16. ממצאים אלה עולים בקנה אחד עם הרעיון שלמומחים אין מיומנויות קוגניטיביות כלליות טובות יותר מאלה של חסרי ניסיון – כמו למשל זיכרון טוב יותר – אלא שלמומחים יש ידע טוב יותר בתחום מסוים המבוסס על ניסיונם (כגון סכמות שמראות כיצד כמה כלים יוצרים קונפיגורציה בודדת). תוצאות אלה גם ממחישות את מגבלותיה של מערכת עיבוד המידע האנושי, המחייבת שימוש באסטרטגיות, כמו סידור מנטאלי של הכלים בקונפיגורציות שונות.

חשיבה על ידי אנלוגיה

17. חשיבה על ידי אנלוגיה היא פתרון בעיה על ידי שימוש בידע קיים על בעיה דומה (Holyoak, 2005). לדוגמה, Gick and Holyoak (1980, 1983) ביקשו מסטודנטים לפתור את בעיית הגידול של Duncker (1945), שבה עליהם לגלות כיצד אפשר לקטול גידול שאין אפשרות להוציאו בניתוח באמצעות קרניים שבעוצמה מסוימת מסוגלות להרוס את הרקמות שבדרכן. הסטודנטים לא הצליחו בדרך כלל להגיע לפתרון הרצוי – לתקוף את הגידול באמצעות התכנסות של מספר רב של קרניים חלשות – גם כאשר ניתן להם קודם קטע קריאה על מפקד צבא המתקיף מבצר, המבוסס על אותו פתרון כללי של כוחות קטנים רבים המתכנסים כולם לתקיפת המבצר. אחת המסקנות החשובות היא שאנשים מתקשים לבצע העברה דרך אנלוגיה – יישום שיטת פתרון מבעיה אחת הידועה להם, אל בעיה חדשה הניתנת לפתרון באותה השיטה – במיוחד כאשר סיפורי המסגרת שונים. ממצא זה גם מצביע על האפשרות שהתודעה האנושית נוטה להתמקד בתחום מסוים, כך שאסטרטגיות פתרון המשמשות בהקשר אחד אינן מועברות אוטומטית להקשר חדש.

פתרון בעיות מתמטיות ומדעיות

18. המחקר על פתרון בעיות מתמטיות ומדעיות מתמקד באופן ספציפי בדרכים של תלמידים לפתור בעיות במקצועות המתמטיקה או המדעים (Mayer, 2008). מחקרים מראים

שהמיומנות בפתרון שאלות אריתמטיות, לדוגמה, תלויה בסוגי ידע מסוימים של פותר הבעיה, לרבות עובדות, מושגים, הליכים, אסטרטגיות ואמונות (Anderson et al., 2001; Kilpatrick, Mayer, 2008; Swafford, & Findell, 2001). לדוגמה, תלמידים יודעים כיצד למיין שאלות אריתמטיות לקטגוריות, מה שמעלה את האפשרות שיש להם סכמות עבור סוגים ספציפיים של בעיות (Hinsley, Hays, & Simon, 1977). החוקרים (Riley, Greeno, and Heller (1982) מצאו שתלמידים צעירים מסוגלים לפתור בעיות מילוליות המוצגות במצב של שינוי (לדוגמה, ליובל יש 3 גולות. הוא מקבל 2 גולות נוספות. כמה גולות יש לו עכשיו?) ביתר קלות מאשר במצב של השוואה (לדוגמה, ליובל יש 3 גולות. לדן יש 2 גולות יותר מאשר ליובל. כמה גולות יש לדן?). תלמידים בוגרים יותר הצליחו יפה בשני סוגי הבעיות. ממצא זה מעלה את האפשרות שתלמידים מתחילים עם סכמה פשוטה אחת ומפתחים סכמות נוספות עם צבירת הניסיון.

19. בתחום של פתרון בעיות מדעיות, אחד הממצאים ששבים ועולים במחקר הוא שתלמידים נכנסים לכיתת המדעים עם שורה של תפיסות קיימות מראש לגבי אופן פעולתם של דברים, דבר שניתן לכנות *תפיסות מוקדמות* או *תפיסות מוטעות*. לדוגמה, תלמידים רבים שלומדים פיזיקה מאמינים כי אם חפץ נמצא בתנועה, ודאי פועל עליו כוח כלשהו כדי שימשיך לנוע – תפיסה מוטעת המכונה לעתים *תיאוריית התנופה* (*impetus theory*) (McCloskey, 1983). תפיסות מוטעות כאלו משפיעות על האופן שבו תלמידים מגבשים תחזיות ועורכים תצפיות על התוצאות במטלה של פתרון בעיה מדעית, דבר אשר מוביל פעמים רבות להטיית אישוש – ניסיונות להוכיח את ההשערה של עצמם תוך התעלמות מנתונים שלא מתאימים להשערה (Chinn & Malhotra, 2002; Dunbar, 1993). ככלל, המחקר על פתרון בעיות מתמטיות ומדעיות מצביע על תפקידו של הידע הספציפי של הלומד בקביעת התהליך של פתרון הבעיה.

קוגניציה הקשרית

20. המונח *קוגניציה הקשרית* (*Situated cognition*) מתייחס לפתרון בעיות בהקשרים פיזיים, חברתיים ותרבותיים ספציפיים (Robbins; Nunes, Schlieman, & Carraher, 1993; Nunes, Schlieman, and Carraher (1993) & Aydede, 2009). לדוגמה, במחקר קלאסי, (Nunes, Schlieman, and Carraher (1993) גילו שתלמידים ברזילאים השתמשו באסטרטגיות חישוב שונות לחלוטין לפתרון בעיות אריתמטיות שקיבלו על נייר במסגרת בית הספר, מאשר לבעיות שבהם נתקלו בעבודתם כרוכלי רחוב. בבית הספר, כאשר קיבלו בעיה כזאת: $35 \times 10 = \underline{\hspace{2cm}}$, הם ניסו ליישם את שיטות הכפל שלמדו בבית הספר, ואילו ברחוב, התלמידים המציאו אסטרטגיה המבוססת על חיבור חוזר ($105 + 105 + 105 + 35 = 350$). במחקר על אסטרטגיות חישוב של קונים במרכול הנדרשים להחליט איזה מבין שני פריטים עדיף לקנות, (Lave (1988 מצא שאנשים לא השתמשו אף פעם באסטרטגיה שלמדו בבית הספר לחישוב עלות היחידה, אלא השתמשו בסוגים אחרים של אסטרטגיות למצבים שונים. לדוגמה, כדי לבחור בין פחית בוטנים של 10 אונקיות במחיר 90 סנט לבין פחית של 4 אונקיות במחיר 45 סנט, הם השתמשו באסטרטגיה של יחסים, שלפיה עדיף לקנות את הפחית הגדולה יותר מפני שהיא עולה כפול אך יש בה יותר

מכפל המשקל באונקיות. המחקר על קוגניציה הקשרית – או מה שניתן לכנות חשיבה יומיומית – מראה שההקשר שבו האדם נתקל בבעיה משפיע על הדרך שבה ייגש לפתור אותה.

מדעי המוח הקוגניטיביים בפתרון בעיות

21. המחקר בתחום מדעי המוח הקוגניטיביים (cognitive neuroscience) בפתרון בעיות

מתמקד בפעילות המתרחשת במוח במהלך פתרון בעיות (Goel, 2005). לדוגמה, Goel (2005) מצאה שחלקים שונים במוח מגויסים לפתרון בעיות היגיון המוצגות בצורה מופשטת (לדוגמה, "כל ה-P הם B. כל ה-C הם P. לכן, כל ה-C הם B.") לעומת בעיות המוצגות בצורה קונקרטי (לדוגמה, "כל הכלבים הם חיות מחמד. כל הפודלים הם כלבים. לכן, כל הפודלים הם חיות מחמד."). ממצאים כאלה שוב מצביעים על האפשרות שמיומנויות ההיסק קשורות במידה מסוימת לתחום מסוים ואינן מבוססות על יישום מערך אוניברסלי של כללי היסק.

פתרון בעיות מורכבות

22. לפני כ-30 שנה, אימץ Dörner (1975) את המושג פתרון בעיות מורכבות כדי לתאר סוג מסוים של בעיה הדורשת לימוד, הנבדלת מפתרון בעיות פשוטות מבחינת רמת המורכבות ותכונות נוספות. המושג אומץ גם לתיאור שיטת חקירה חדשה – השימוש בעולמות זעירים בהדמיית מחשב (computer simulated microworlds). באותה תקופה, חוקרים השתכנעו יותר ויותר כי מתוך הממצאים האמפיריים והתפיסות התיאורטיות לגבי מטלות פשוטות שיש בהן חידוש, לא ניתן להכליל לבעיות מורכבות יותר הלקוחות מהחיים האמיתיים, וכי הידע והאסטרטגיות בתחום מסוים ממלאות חלק חשוב בפתרון בעיות.

23. באירופה הופיעו שתי גישות עיקריות במחקר על פתרון בעיות מורכבות, שהמשותף ביניהן היה הדגש על מטלות מעבדה ממוחשבות, שכיחות יחסית ועשירות מבחינה סמנטית, הבנויות כך שהן דומות לבעיות מהחיים האמיתיים (Funke & Frensch, 1995; Frensch & Funke, 2007). גישה אחת, שפותחה על ידי Broadbent (1977; ראו Berry & Broadbent, 1995), מתמקדת בהבחנה בין פתרון בעיות גלוי (explicit) (פתרון בעיות הנשלט על ידי כוונות הפותר) ובין פתרון בעיות חבוי (implicit) (פתרון בעיות הנעשה באופן אוטומטי או חסר מודעות), וכרוכה באופן טיפוסי בשימוש במודלים מתמטיים ממוחשבים מוגדרים היטב. הגישה האחרת, שבה נקט לראשונה Dörner (לדוגמה, Dörner, 1980; Dörner et al, 1983) "מתעניינת ביחסי הגומלין בין המרכיבים הקוגניטיביים, המוטיבציוניים והחברתיים של פתרון בעיות" (Funke & Frensch, 2007), ומשתמשת בהדמיות מחשב מורכבות ביותר הכוללות עד 2,000 משתנים המחוברים זה לזה בקשרים הדדיים.

24. החוקרים (Frensch and Funke (1995b, p. 18) הציעו את המאפיינים המובחנים הבאים של פתרון בעיות מורכבות ברוח מסורות המחקר שנוסדו על ידי Broadbent and Dörner²:

² שורשי הגדרה זו נעוצים במסורת האירופית של Broadbent and Dörner. מחברים רבים נוקטים ראייה רחבה בהרבה לגבי בעיה מורכבת בניגוד לבעיה פשוטה (לדוגמה, Sternberg & Frensch, 1991). יש המשתמשים בה כדי לציין מטלות

"המצב הנתון, מצב המטרה, והחסמים בין המצב הנתון למצב המטרה הם מורכבים, משתנים באופן דינמי במהלך פתרון הבעיה, והנם בלתי שקופים. התכונות המדויקות של המצב הנתון, מצב המטרה והחסמים אינן ידועות לפותר מלכתחילה". נוכל להמחיש מאפיינים אלה בעזרת דוגמה (בעקבות Vollmeyer, Burns & Holyoak, 1996). לנבדקים מוצגת הדמיית מחשב של אקווריום. בהדמיה יש ארבעה מינים של יצורי ים (סרטנים, חסילונים, לובסטרים ודגי בס); מינים אלה מושפעים מארבע גורמים (טמפרטורה, מלח, חמצן וזרם). הנבדקים (משתמשי המערכת) יכולים לבצע פעולות בארבעת הגורמים, אך הקשרים בין הגורמים לבין יצורי הים השונים אינם גלויים לנבדקים. שינויים שמבצעים הנבדקים במשתני הטמפרטורה, תכולת המלח, החמצן והזרם יגרמו לשינויים באוכלוסיות יצורי הים. בנוסף, בהיעדר התערבות הנבדקים, אוכלוסיית הלובסטרים תקטן מעצמה. הנבדקים מתבקשים לנסות לגלות את הקשרים בין הגורמים לבין יצורי הים על ידי התנסות בערכי קלט שונים, ולאחר מכן הם מתבקשים לבצע פעולות במערכת כדי להשיג ערכי מטרה ספציפיים עבור כל אחד מהיצורים הימיים. יש לציין שהמשוואות החלות על המערכת שרירותיות למדי, ומכאן שידע בבילוגיה ימית בעולם האמיתי יהיה לכל היותר חסר תועלת ולכל הפחות ישיג תוצאות הפוכות מהרצוי.

25. המחקר (Funke & Frensch, 2007) אינו תומך בקיומו של קשר חזק בין אינטליגנציה כללית לבין היכולת לפתור בעיות מורכבות כאשר הספציפיות והשקיפות של המטרה נמוכות וכאשר התוכן הסמנטי עשיר, אך דומה שקיים מתאם בין מרכיבי אינטליגנציה מסוימים (ובפרט יכולת העיבוד-יכולת ההיסק ופוטנציאל הלמידה) לבין יכולת של פתרון בעיות מורכבות, אפילו כאשר המטלה בלתי שקופה. עם זאת, בדומה למקרה של בעיות פשוטות, היכולת לפתור בעיות מורכבות תלויה במידה רבה בידע ובאסטרטגיות בתחום מסוים. לסיום, השאלה אם יכולת פתרון בעיות מורכבות היא מושג שאינו תלוי ב"פתרון בעיות פשוטות" נותרת פתוחה, אם כי תוצאות ממצאי ההרחבות הלאומיות בגרמניה בפיזה 2000 (Wirth & Klieme, 2004) ופיזה 2003 (Leutner & Wirth, 2005; Leutner et al, 2004) מספקות תמיכה מסוימת לקיומו של פתרון בעיות מורכבות כמושג בלתי תלוי.

מסקנות

26. השלכה חשובה של חקר פתרון הבעיות על הערכת פתרון הבעיות במחקר פיזה 2012 היא שבהערכה יש להביא בחשבון את תפקיד הידע של התלמיד בתחום מסוים ביכולת שלו לפתור בעיות, ולא רק לנסות להעריך את פתרון הבעיות באופן כללי. בנוסף, הספרות המחקרית בנושא של פתרון בעיות מעלה כי הערכת פתרון הבעיות בפיזה 2012 צריכה להתבסס על פתרון בעיות בהקשרים אותנטיים קונקרטיים במקום מטלות מופשטות. הספרות בנושא מעלה עוד כי מטלות פתרון הבעיות בהערכת פתרון הבעיות של פיזה 2012 צריכות להיות עשירות דיין, כדי לאפשר לתלמידים להשתמש במערכות עיבוד המידע שלהם לניהול מגוון של סוגי ידע שונים, ולא להתבסס על פריטים קצרים דמויי חידות.

אותנטיות, ללא קשר לתכונותיהן; אחרים משתמשים בה באופן דומה ל-Frensch and Funke, אך מאפשרים לבעיות המורכבות להיות דינמיות או בלתי שקופות (intransparent).

27. הבעיות שעמן מתמודדים אזרחים במאה ה-21 הן בעיות מורכבות יותר ויותר, וכדי לפתור אותן לא ניתן להשתמש בשיטות לפתרון בעיות פשוטות ולהכליל מהן בקלות. יתרה מכך, אין עדויות אמפיריות לקיומו של קשר בין היכולת לפתור בעיות מורכבות לבין אינטליגנציה כללית, אך קיימות עדויות מסוימות (אם כי לא חד-משמעיות) שהיכולת לפתור בעיות מורכבות היא מושג נפרד, ולא יישום של תהליכים "רגילים" של פתרון בעיות במצבים מורכבים. ההשלכה הברורה היא שפתרון בעיות מורכבות צריך להיות מאפיין מרכזי בהערכת פתרון הבעיות של פיזה 2012.

- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Baron, J. (2000). *Thinking and deciding* (3rd ed). New York: Cambridge University Press.
- Bloom, B. S., & Broder, B. J. (1950). *Problem-solving processes of college students: An exploratory investigation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1995). Implicit learning in the control of complex systems. In P.A. Frensch & J. Funke (Eds.), ***Complex Problem Solving: The European Perspective* (pp. 3–25)**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Broadbent, D. E. (1977). Levels, hierarchies, and the locus of control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 29, 181–200.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive ability*. New York: Cambridge University Press.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55–81.
- Cheng, P. W., & Holyoak, K. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391–416.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Children's responses to anomalous scientific data: How is conceptual change impeded? *Journal of Educational Psychology*, 94, 327–343.
- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? *Cognition*, 31, 187–276.
- Covington, M. V., Crutchfield, R. S., Davies, L. B., & Olton, R. M. (1974). *The productive thinking program*. Columbus, OH: Merrill.
- de Groot, A. D. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague, Netherlands: Mouton.
- Dörner, D., Kreuzig, H.W., Reither, F., & Stäudel, T. (1983). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität [Lohhausen. On dealing with uncertainty and complexity]*. Bern: Huber.
- Dorner, D. (1980). On the difficulty people have in dealing with complexity.** *Simulation & Games* 11, 87–106.
- Dienes, Z., & Berry, D. (1997). Implicit learning: Below the subjective threshold. *Psychonomic Bulletin & Review* 4, 3–23.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397–434.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs* 58:3 (Whole No. 270).
- Ericsson, K. A., Feltovich, P. J., & Hoffman, R. R. (Eds.) (2006). *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*. New York: Cambridge University Press.
- Evans, J. S. B. T. (2005). Deductive reasoning. In K. J. Holyoak, & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 169–184). New York: Cambridge University Press.
- Frensch, P. A. & Funke, J. (Eds.). (1995). *Complex Problem Solving: The European Perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.**
- Frensch, P.A. & Rünger, D. (2003) Implicit learning.** *Current Directions in Psychological Science* 12, 13–18.
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and Reasoning* 7(1), 69–89.
- Funke, J. and Frensch, P. A. (2007). Complex problem solving: The European perspective – 10 years after.** In D. H. Jonassen (Ed.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems* (pp. 25–47). New York: Lawrence Erlbaum.
- Gentner, D., & Stevens, A. L. (Eds.). (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gick, M. I., & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306–355.

- Gick, M. I., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1–38.
- Gigerenzer, G., Todd, P. M., & the ABC Research Group (Eds.). (1999). *Simple heuristics that make us smart*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Goel, V. (2005). Cognitive neuroscience of deductive reasoning. In K. J. Holyoak, & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 475–492). New York: Cambridge University Press.
- Griggs, R. A., & Cox, J. R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology*, 73, 407–420.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Hinsley, D., Hayes, J. R., & Simon, H. A. (1977). From words to equations. In P. Carpenter & M. Just (Eds.), *Cognitive processes in comprehension*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Holyoak, K. J. (2005). Analogy. In K. J. Holyoak, & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 117–142). New York: Cambridge University Press.
- Humphrey, G. (1963). *Thinking: An introduction to experimental psychology*. New York: Wiley.
- Johnson-Laird, P. N. (2005). Mental models and thought. In K. J. Holyoak, & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 185–208). New York: Cambridge University Press.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, 263–291.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1984). Choice, values, and frames. *American Psychologist*, 39, 341–350.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (Eds.). (2000). *Choices, values, and frames*. New York: Cambridge University Press.
- Kilpatrick, J., Swafford, J., & Findell, B. (Eds.). (2001). *Adding it up: Helping children learn mathematics*. Washington, DC: National Academy Press.
- Klieme, E. (2004). Assessment of cross-curricular problem-solving competencies. In J.H. Moskowitz and M. Stephens (Eds.), *Comparing Learning Outcomes. International Assessments and Education Policy* (pp. 81–107). London: Routledge Falmer.
- Kohler, W. (1925). *The mentality of apes*. New York: Liveright.
- Lave, J. (1988). *Cognition in practice*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K. & Wirth, J. (2004). Problemlösen [Problem solving]. In M. Prenzel, J. Baumert, W. Blum, R. Lehmann, D. Leutner, M. Neubrand, R. Pekrun, J. Rost & U. Schiefele (PISA-Konsortium Deutschland) (Eds.), *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (pp. 147–175). Münster, Germany: Waxmann.
- Mandler, J. M., & Mandler, G. (1964). *Thinking from associationism to Gestalt*. New York: Wiley.
- Markman, A. B., & Medin, D. L. (2002). Decision making. In D. Medin (Ed.), *Stevens' handbook of experimental psychology, Volume 2: Memory and cognitive processes* (2nd ed; pp. 413–466). New York: Wiley.
- Mayer, R. E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition* (2nd ed). New York: Freeman.
- Mayer, R. E. (1995). The search for insight: Grappling with Gestalt psychology's unanswered questions. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *The nature of insight* (pp. 3–32). Cambridge, MA: MIT Press.
- Mayer, R. E. (2008). *Learning and instruction*. Upper Saddle River, NJ: Merrill Prentice Hall.
- Mayer, R. E. (2009). Information processing. In T. L. Good (Ed.), *21st century education: A reference handbook* (pp. 168–174). Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Mayer, R. E. (in press). Problem solving. In D. Reisberg (Ed.), *Oxford handbook of cognitive psychology*. New York: Oxford University Press.

- Mayer, R. E., & Wittrock, M. C. (2006). Problem solving. In P. A. Alexander & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2nd ed; pp. 287–304). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122–130.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Nickerson, R. S. (1999). Enhancing creativity. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 392–430). New York: Cambridge University Press.
- Nunes, T., Schliemann, A. D., & Carraher, D. W. (1993). *Street mathematics and school mathematics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Polya, G. (1957). *How to solve it*. Garden City, NY: Doubleday. [Originally published in 1945 by Princeton University Press.]
- Polya, G. (1965). *Mathematical discovery* (vol. 2). New York: Wiley.
- Osman M. (2010). Controlling uncertainty: A review of human behavior in complex dynamic environments. *Psychological Bulletin* 136, 65–86.
- Riley, M., Greeno, J. G., & Heller, J. (1982). The development of children's problem solving ability in arithmetic. In H. Ginsberg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153–199). New York: Academic Press.
- Ritchhart, R., & Perkins, D. N. (2005). Learning to think: The challenge of teaching thinking. In K. J. Holyoak, & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 775–802). New York: Cambridge University Press.
- Robbins, P., & Aydede, M. (Eds.). (2009). *The Cambridge handbook of situated cognition*. New York: Cambridge University Press.
- Rogers, T. T., & McClelland, J. L. (2004). *Semantic cognition: A parallel distributed processing approach*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Simon, H. A. (1982). *Models of bounded rationality*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sternberg, R. J. (1990). *Metaphors of mind: Conceptions of the nature of intelligence*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J. (1999). *Handbook of creativity*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J., & Frensch, P. A. (Eds.). (1991). *Complex problem solving: Principles and mechanisms*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Sternberg, R. J., & Grigorenko, E. L. (Eds.). (2003). *The psychology of abilities, competencies, and expertise*. New York: Cambridge University Press.
- Thorndike, E. L. (1911). *Animal intelligence*. New York: Hafner.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology*, 5, 207–232.
- Vollmeyer, R., Burns, B. D., & Holyoak, K. J. (1996). The impact of goal specificity and systematicity of strategies on the acquisition of problem structure. *Cognitive Science* 20, 75–100.
- Wason, P. C. (1966). Reasoning. In B. M. Foss (Ed.), *New horizons in psychology*. Harmondsworth, England: Penguin.
- Wirth, J. and Klieme, E. (2004). Computer-based assessment of problem solving competence. *Assessment in Education: Principles, Policy and Practice* 10(3), 329–345.
- Wundt, W. (1973). *An introduction to experimental psychology*. New York: Arno Press. [Originally published in German in 1911.]

נספח ב': קבוצת המומחים לפתרון בעיות

להלן חברי קבוצת המומחים לפתרון בעיות (PEG) בפיזה 2012:

ארגון	חבר PEG
Consortium (יו"ר בפועל)	ר"י אדמס
אוניברסיטת סגד, הונגריה (נציגת PGB מתוקף תפקידו)	בניו קספאו
אוניברסיטת אילינוי סטייט, ארה"ב	ג'ון דוסי
אוניברסיטת היידלברג, גרמניה	יואכים פונקה
אוניברסיטת ממפיס, ארה"ב	ארט גרייטר
אוניברסיטת דויסבורג-אסן, גרמניה	דטלף לויטנר
אוניברסיטת קליפורניה, ארה"ב	ריצ'ארד מאייר
משרד החינוך, סינגפור	טאן מינג מינג
אוניברסיטת לוקסמבורג, לוקסמבורג	רומאן מרטאן