

חשיבה המצאתית

ורד יפלח וישקרמן*

<https://doi.org/10.54301/DORP8169>

כדי להבין את שיטת החשיבה המצאתית עלינו להבין מושגי יסוד במתודולוגיה: מערכת, אידאוליות וסתירה.

מילות מפתח: חשיבה המצאתית; חשיבה המצאתית שיטתית (SIT); טריז (TRIZ)

- **מערכת.** המושג מתאר את מכלול המערכת שבה מתקיימת הבעיה שאנו רוצים לפתור: הבנת המערכת, מרכיביה, יחסי הגומלין בין המרכיבים השונים והקשר שלהם לסביבה שבה פועלת המערכת. לדוגמה, במכונית מערכת הבלמים כוללת את הדיסקים, הרפידות, הנוזל ההידראולי והדוושה. כדי לשפר את יעילות הבלמים יש להתייחס לא רק לכל רכיב בנפרד אלא גם ליחסי הגומלין שביניהם.

- **אידאוליות.** הפתרון האידאלי הוא מצב שבו המערכת משיגה את המטרה / התפקוד / הערך המירבי עם מינימום פשרות. אידאוליות מוגדרת כיחס בין סך הפונקציות המועילות של מערכת לפונקציות המזיקות שלה והעלויות הכרוכות בתפקודה. פונקציות מועילות הן התועלת שהמערכת מספקת, ופונקציות מזיקות קשורות לתפעול המערכת, כמו עלות משאבים, רעש, אשפה, זיהום ועוד. לדוגמה, לשם מיזוג אוויר אידאלי בבניינים, המערכת האידאולית תהיה מבנה בניין שתוכנן כך שינצל זרימת אוויר טבעית, בידוד תרמי ושימוש באנרגיית השמש או צמחייה כדי לשמור על טמפרטורה נעימה בתוך החלל במקום להשתמש במזגנים שמחייבים צריכת אנרגיה גבוהה. מערכת כזו מצויה בבניין המשרדים Eastgate Centre, הרארה, זימבבואה. בניין זה משתמש במערכת מיזוג אוויר טבעית המבוססת על עקרונות שנלמדו מקיני טרמיטים. המבנה מנצל זרימת אוויר טבעית, בידוד תרמי ותעלות אוורור כדי לווסת את הטמפרטורה. במהלך היום האוויר החם עולה כלפי מעלה ומשתחרר דרך פתחים בחלקו העליון של הבניין. בלילה האוויר הקריר מוזרם פנימה דרך פתחים נמוכים.

- **סתירה.** בעיה מוגדרת כמצב שבו תכונה אחת של המערכת משתפרת, אך תכונה אחרת נפגעת כתוצאה מכך. לדוגמה, הרצון להפוך חומר קל יותר מבלי לפגוע בחוזקו. כדי לפתור את הבעיה קיימת טבלת סתירות אשר השימוש בה מאפשר הכוונה לעקרונות המצאתיים ולפיתוח ההמצאה (Ilevbare et al., 2013).

חשיבה המצאתית (Inventive thinking) היא גישה לפתרון בעיות. מקור השיטה במתודולוגיית 'פתרון בעיות המצאתי' אשר פיתח גנריך אלטשולר (1984, 1999). שיטה זו מוכרת גם בשם **טריז (TRIZ)**, ראשי התיבות של שם השיטה ברוסית כלומר Theoria Reshenyva Isobretatelskehuh Zadach. טריז היא מתודולוגיה שיטתית מבוססת ידע של פתרון בעיות המצאתי. חוקרים תיארו את טריז כמתודולוגיה לפיתוח יעיל של מערכות (טכניות) חדשות נוסף להיותה מערכת של עקרונות המתארים כיצד טכנולוגיות ומערכות מתפתחות (Fey & Rivin, 2005; Savransky, 2000). גד (Gadd, 2011) תיאר אותה כערכת כלים המורכבת משיטות המכסות את כל ההיבטים של הבנה ופתרון בעיות. יש התופסים ערכת כלים זו כמתודולוגיה להמצאה ולחשיבה יצירתית – המקיפה ביותר והמאורגנת באופן שיטתי (Livotov, 2008). מאז גיבושה של טריז בשנת 1946, היא פותחה ויושמה באופן נרחב בתחומים רבים, כגון טכנולוגיה הנדסית (Vincent, 2016), מדעי הטבע (Ghane et al., 2022; 2024), ומדעי הניהול (San, 2014).

מושגי יסוד בחשיבה המצאתית

בחשיבה המצאתית אנו ניגשים לפתרון בעיה מנקודת המוצא שהפתרונות האפשריים נובעים מתוך המשאבים הקיימים בסביבה המיידית של הבעיה מבלי להוסיף רכיבים או משאבים חדשים מבחוץ (במונח 'משאבים' אנו מתייחסים לכל האמצעים הזמינים במערכת או בסביבתה שניתן להשתמש בהם לפתרון הבעיה). רעיון זה מדגיש את החשיבות של הסתכלות מחודשת ומעמיקה במה שכבר זמין, מתוך הבנה שהפתרון לעיתים קרובות 'כבר קיים', ויש לזהותו או לשנות את האופן שבו הוא מנוצל (רעיון זה הוא עיקרון בחשיבה המצאתית, והוא נקרא עיקרון העולם הסגור).

* ד"ר ורד יפלח-וישקרמן היא מרצה בכירה בהתמחות מדעים, ראש תוכנית ההכשרה לבית הספר העל-יסודי במכללה האקדמית לחינוך ע"ש קיי, באר שבע. תחומי העניין שלה הם הוראת המדעים בדגש על הוראת ביומימיקרי, חינוך לקיימות וקידום בריאות תוך התמקדות בחשיבה יצירתית, המצאתית ועיצובית. <https://orcid.org/0009-0005-8169-8694>

דוגמאות לעקרונות החשיבה ההמצאתית לפי שיטת TRIZ

אלטשולר (1984, 1999) פיתח 40 עקרונות בחשיבה המצאתית, המשמשים ככלי לפתרון בעיות. להלן מוצגים מספר עקרונות.

- **החסרה** מתמקדת בהסרת רכיב או אלמנט כלשהו מהמערכת או המוצר. הגישה היא לחשוב איזה רכיב ניתן להוציא מבלי לפגוע בתפקוד הכללי של המערכת או המוצר. לדוגמה, ההחסרה בהמצאה של מזון דל-שומן או מזון דל-סוכר היא הפחתת רכיב המזון (שומן או סוכר) מבלי לפגוע בטעם של המוצר.

- **הכפלה** עוסקת ביצירת חפיפות או עותקים של רכיב, פעולה או אלמנט כלשהו במערכת כך שהמערכת תשפר את הביצועים, הפונקציות או את יכולת ההתמודדות עם בעיות. לדוגמה, סכיני גילוח עם מספר להבים.

- **איחוד** מתמקד בהטלת תפקיד חדש על רכיב קיים במערכת או בניסוח אחר בשילוב שתי פונקציות או יותר בתוך רכיב אחד או אלמנט אחד. לדוגמה, קרם לחות שהוא גם קרם הגנה. גאדג'טים כמו טלפון סלולרי שכולל בתוכו גם מצלמה, מחשבון, שעון ועוד. האיחוד בין פונקציות שונות במכשיר אחד מאפשר חיסכון במקום, בכסף ובמשאבים.

- **חלוקה** מתמקדת בחלוקת אובייקט או מערכת שלמה לחלקים קטנים יותר או ליחידות עבודה נפרדות כדי לשפר את יעילות התפעול או את ההתאמה לסביבה. לדוגמה, חוטי הטענה עם חיבורים שונים למכשירים סלולריים שונים. דוגמה נוספת היא טיל בליסטי שבמהלך מעופו לעבר המטרה מתנתקים ממנו חלקים דוגמת המנוע הכבד הנושא עימו מטען גדול של דלק. לאחר שריפת הדלק המכלים והמבנה התומך שבהם הופכים למשקל מיותר. לכן ניתוק החלקים האלה מקל על המשך הטיסה ומאפשר לשלב הבא להאיץ ביתר קלות.

- **היפוך** עוסק בהפיכת כיוון או שינוי תפקוד של רכיב או מערכת, בחשיבה על פתרונות על ידי הפיכת המצב או השיטה הקיימת. עיקרון ההיפוך מציע לשנות את הכיוון או את הדרך שבה הדברים פועלים כדי להגיע לתוצאה שונה או חדשנית. לדוגמה, בקבוק קטשופ שעומד על הראש.

- **רטט** מתמקד בשימוש בתנועה מחזורית, ברטט או בתנודות כדי לשפר את תפקוד המערכת, להגביר יעילות או לפתור בעיות. רטט יכול לשמש לתפעול מכני, ניקוי, פירוק או שינוי מצב בהתאם לצורך במערכת. לדוגמה, מברשת שיניים חשמלית משתמשת בתנודות או ברטט כדי להסיר פלאק ושאריות מזון ביעילות רבה יותר מאשר מברשת שיניים רגילה.

גינדי פילקובסקי ייבא את השיטה ארצה בשנות ה-80 של המאה הקודמת. תלמידיו שהמשיכו לפתח את השיטה, יצרו את

SIT (Systematic Inventive Thinking). היינו 'חשיבה המצאתית' שיטתית. שיטת SIT מתבססת רק על חמישה תכסיסי חשיבה: איחוד, הכפלה, חלוקה, החסרה ושינוי תלות (האחרון עוסק ביצירת קשר חדש בין משתנים של המערכת שלא היו קשורים קודם לכן. לדוגמה, עדשות המשנות את הצבע במשקפי ראייה לפי עוצמת אור השמש).

שיטה זו מתמקדת בחמישה כלים בלבד משום שקל יותר לזכור מספר מצומצם של עקרונות, וככל שתכסיסים מייצגים מקרים כלליים יותר, קל יותר לבצע העברה לתחומי דעת אחרים ולפתור מגוון רחב של בעיות.

לכל אחת מהשיטות המוזכרות יתרונות וחסרונות. שיטת טריז דורשת הכשרה מעמיקה ולמידה ממושכת. כלומר כדי ליישמה באופן מלא נדרשים זמן, משאבים ורקע טכני או הנדסי. אך משום שהיא שיטתית, מובנת ומבוססת על ניתוח רחב של פטנטים ופתרונות טכנולוגיים. היא מאפשרת פתרון בעיות מורכבות ומעודדת יצירתיות תוך שימוש במשאבים קיימים. מנגד שיטת ה-SIT קלה ללימוד ודורשת הכשרה קצרה, מתאימה מאוד לארגונים ולאנשים ללא רקע טכני. השיטה אינה מתאימה לפתרון בעיות מורכבות, משום שהיא מתבססת על מספר עקרונות מצומצם (חמישה עקרונות בלבד) המגביל את האפשרויות לפתרון חדשני.

יישומים במערכת החינוך

במערכת החינוך האקדמית ניתן למצוא קורסים בחשיבה המצאתית בעיקר בתוכניות להנדסה ובחשיבה יזמית במסגרות חינוך בלתי פורמאלי, כגון בתוכניות למחוננים, בתוכניות לחינוך ליזמות (Ren & Li, 2024) ובחינוך ל-STEM (Science, Technology, Engineering Mathematics) (Saleh et al., 2020). חשיפה לנושא חשיבה המצאתית במערכת החינוך מעודדת פיתוח מיומנויות המאה ה-21, מאפשרת עידוד יצירתיות, פיתוח גמישות מחשבתית, חשיבה ביקורתית ושיתוף פעולה (Korhonen et al., 2023).

כדי להקנות בבתי ספר את נושא החשיבה ההמצאתית יש לנקוט גישה משלבת, המפונה גם גישת המיזוג (infusion approach). לפיה החשיבה אינה נלמדת כתחום לימודי העומד בפני עצמו, למשל בשיעור נפרד, אלא היא משולבת בתוכני הלימוד של המקצועות השונים.

השינויים המתרחשים בעצימות גבוהה בשנים האחרונות הן בהיקף ובאופי המידע הזמין, הן בדרישות בשוק העבודה ובאתגרי האזרחות במדינה ובעולם, מחייבים חינוך המעודד חשיבה. קיימות שלוש תפיסות להוראת החשיבה על פי הרפז (2006): תפיסת הנטיות, תפיסת ההבנה ותפיסת האסטרטגיות.

Gadd, K. (2011). TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving. John Wiley & Sons.

Ghane, M., Ang, M. C., Cavallucci, D., Kadir, R. A., Ng, K. W., & Sorooshian, S. (2022). TRIZ Trends in Engineering System Evolution: A Review of Applications, Benefits, Challenges, and Enhancements with Computer-Aided Aspects. *Computers & Industrial Engineering*, 174, 108833. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108833>

Ghane, M., Ang, M. C., Cavallucci, D., Kadir, R. A., Ng, K. W., & Sorooshian, S. (2024). Semantic TRIZ feasibility in technology development, innovation, and production: A systematic review. *Heliyon*, 10, 1, e23775.

Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, its benefits, and its challenges in practice. *Technovation*, 33, 2-3, 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>

Korhonen, T., Kangas, K., & Salo, L. (2023). *Invention Pedagogy: The Finnish Approach to Maker Education* (p. 304). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9781003287360>

Li, Y., & Ren, H. (2024). Optimization of the innovation and entrepreneurship education model in colleges and universities based on the TRIZ method. *Journal of Computational Methods in Science and Engineering*, 0, 0. <https://doi.org/10.1177/14727978241298493>

Livotov, P. (2008). *TRIZ and Innovation Management*. (www.tris-europe.com).

Li, Y., & Ren, H. (2024). Optimization of innovation and entrepreneurship education model in colleges and universities based on the TRIZ method. *Journal of Computational Methods in Science and Engineering*, 14727978241298493. DOI: [10.1155/2022/2868499](https://doi.org/10.1155/2022/2868499)

Ritchhart, R. (2004). *Intellectual Character: What It Is, Why It Matters, and How to Get It*. John Wiley & Sons.

Saleh, S., Muhammad, A., & Abdullah, S. M. S. (2020). STEM project-based approach in enhancing conceptual understanding and inventive thinking skills among secondary school students. *Journal of Nusantara Studies*, 5, 1, 234-254.

San, Y. T. (2014). *TRIZ: Systematic Innovation in Business & Management*. First Fruits.

Savransky, S. D. (2000). *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. CRC press.

Tishman, S., Jay, E., & Perkins, D. N. (1993). Teaching thinking dispositions: From transmission to enculturation. *Theory into Practice*, 32(3), 147-153. <https://doi.org/10.1080/00405849309543590>

Vincent, J. (2016). TRIZ as a Primary Tool for Biomimetics. *Research and Practice on the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) Linking Creativity, Engineering, and Innovation* (pp. 225-235). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31782-3_13

• **תפיסת הנטיות** מתמקדת בטיפוח הנטיות המחשבתיות של התלמידים, במוכנות ובכוננות שלהם לחשוב בצורה סקרנית, ביקורתית. ישנן תיאוריות חינוכיות העוסקות בנושא, כגון תיאורית שבע הנטיות המבוססת על עבודתם של החוקרים פרקינס וטישמן (Perkins & Tishman, 1993) והתיאוריה החינוכית של ריכארט (Ritchhart, 2004) שמציגה גישה לחינוך שמעמידה במרכז את הפיתוח של 'אופי אינטלקטואלי' בקרב לומדים.

• **תפיסת ההבנה** עוסקת בקשר שבין למידת התוכן והבנתו. הלמידה צריכה להיות מעמיקה כך שתאפשר יישום והעברה במצבים שונים. דוגמה מיטבית לכך היא למידה מבוססת פרויקטים/חקר/בעיה או הלמידה המתווכת של פוירשטיין (Feuerstein, 2012).

• **תפיסת האסטרטגיות** עוסקת בפיתוח אסטרטגיות לחשיבה וכלים שיאפשרו ללומד להתמודד עם בעיות. השיטה של חשיבה המצאתית היא אחת הדוגמאות הנפוצות בתפיסת האסטרטגיות.

חשיבה המצאתית שואפת ליצור פתרונות חדשים לבעיות קיימות תוך כדי יציאה מדפוסי חשיבה מקובעים באמצעות התבוננות בבעיה מנקודת מבט לא שגרתית. אך כדי להקנות את המיומנות הזו במערכת החינוך נדרש להכשיר מורים מיומנים בשיטה. כמו כן נדרש ליצור תרחשים ובעיות הקרובות לעולמו של הלומד כדי ליצור למידה מתוך עניין וחוויה.

תפקיד מערכת החינוך הוא לטפח מיומנויות, אשר יעזרו לבוגרים להסתגל למציאות המשתנה, להכין אותם לעולם תעסוקה משתנה, עולם שבו הם יוכלו לעבור לעיתים קרובות בין תפקידים תעסוקתיים מגוונים, בין סביבות עבודה, עולם שבו הם יצטרכו להטמיע ללא הרף מידע חדש. חשיבה המצאתית היא אחת האסטרטגיות המוצעות לכך.

המקורות

הרפז, י' (2006). חינוך החשיבה: מיומנויות נטיות הבנה. בתוך ד' גורדון (עורך), **מקצעות לימוד במבחן: חלופות להוראה הקונבנציונלית בבית הספר** (עמ' 150-187). מכון ון ליר, הקיבוץ המאוחד.

Altshuller, G. S. (1984). *Creativity as an Exact Science*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781466593442>

Altshuller, G. (1999). *The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation, and Technical Creativity*. Technical Innovation Center.

Feuerstein, R., & Lewin-Benham, A. (2012). *What Learning Looks Like: Mediated Learning in Theory and Practice, K-6*. Teachers College Press.

Fey, V., & Rivin, E. (2005). *Innovation on Demand: New Product Development Using TRIZ*. Cambridge University Press.