

הקניית כישורי חשיבה מערכתית בחינוך הנדסי ומדעי

אלכס בלכמן, אביגדור זוננשיין,
סיגל קורל-קורדובה, ענת ניסל-מילר, יורם רייך
עריכה והגהה: איילת רוזה

תודתנו נתונה לכלל השותפים לקבוצת העבודה לחשיבה מערכתית
שהשתתפו במפגשים לאורך שהשנים 2023-2024 ולחברי קבוצת המומחים
להכשרה לחשיבה מערכתית שנפגשו מספר פעמים בנוסף למפגשי הקבוצה

מוסד שמואל נאמן
למחקר מדיניות לאומית



חינוך מהנדסים | 10/24



קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית

דו"ח מחקר בנושא

הקניית כישורי חשיבה מערכתית בחינוך הנדסי ומדעי

אלכס בלכמן, אביגדור זוננשיין,

סיגל קורל-קורדובה, ענת ניסל-מילר, יורם רייך

עריכה והגהה: איילת רווה

תודות

תודתנו נתונה לכלל השותפים לקבוצת העבודה לחשיבה מערכתית שהשתתפו במפגשים לאורך שהשנים 2023-2024 ולחברי קבוצת המומחים להכשרה לחשיבה מערכתית שנפגשו מספר פעמים בנוסף למפגשי הקבוצה

אוקטובר 2024

אין לשכפל כל חלק מפרסום זה ללא רשות מראש ובכתב ממוסד שמואל נאמן מלבד לצורך ציטוט של קטעים קצרים במאמרי סקירה ופרסומים דומים תוך ציון מפורש של המקור. הדעות והמסקנות המובאות בפרסום זה הן על דעת המחברת ואינן משקפות בהכרח את דעת מוסד שמואל נאמן

תוכן העניינים

4.....	1. קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית – רקע
5.....	2. מטרות ומבנה המסמך
6.....	3. מבוא לחשיבה מערכתית
6	3.1 חשיבה מערכתית – הגדרה
7	3.2 מערכת כבסיס לחשיבה מערכתית
8	3.3 נקודות מבט על מערכות
9	3.4 דוגמה להפעלת חשיבה מערכתית: חשיבה מערכתית על חשיבה מערכתית
10	4. חשיבה מערכתית יישומית
10.....	4.1 גישות לבעיה מערכתית
13.....	4.2 כלים לניתוח מערכתי
15.....	4.3 חשיבה מערכתית יישומית
15.....	4.4 היבטי חשיבה מערכתית – תובנות מומחים
16	5. כישורי חשיבה מערכתית
16.....	5.1 חשיבה מערכתית כחלק מגישת המערכות
17.....	5.2 חשיבה מערכתית כמיומנות חשיבה גבוהה
19.....	5.3 הקטגוריות המרכיבות חשיבה מערכתית-הנדסית
23	5.4 הערכת כישורי חשיבה מערכתית
25	5.5 כלים להערכת רמת חשיבה מערכתית
28.....	6. הקניית כישורי חשיבה מערכתית
30	7. דוגמה #1 ליישום תוכניות הכשרה לחשיבה מערכתית
30	7.1 חשיבה מערכתית למהנדסי תעשייה וניהול
30	7.2 על הקורס
30	7.3 חשיבה מערכתית יישומית
31.....	7.4 סילבוס

- 7.5 אסטרטגיית הלמידה והגישה הפדגוגית – פרויקט הקורס 31
- 7.6 פירוט הפרקים והמפגשים בקורס..... 32
- 7.7 דוגמה # 1: ספרי לימוד 34
- 7.8 דוגמה # 1: מקורות..... 34
- 8. דוגמה #2 ליישום תוכניות הכשרה לחשיבה מערכתית 35**
- 8.1 אמנות חשיבה מערכתית במציאות מורכבת 35
- 8.2 תוצרי הלמידה בקורס..... 35
- 8.3 מבנה הקורס..... 35
- 8.4 דוגמה #2: מקורות..... 37
- 9. נספח: עיקרי מפגשים ופעילויות קבוצת העבודה 40**
- 10. מקורות..... 43**
- 11. נספח א': משתפי קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית..... 47**
- 12. נספח ג': הגדרות לחשיבה מערכתית – מקורות נבחרים 49**
- 13. נספח ד': תכונות ונושאים להתייחסות בבחינת מערכות – מקורות נבחרים..... 50**

רשימת איורים

- איור 1: מתודולוגיה כללית לחשיבה מערכתית (עיבוד לפי רוברט אדסון)..... 11
- איור 2: תהליך התאמת יכולות החשיבה של המועמד לתפקיד הדורש חשיבה מערכתית 26
- איור 3: מודל להתאמת יכולות החשיבה המערכתית של מועמד לעבודה לתפקיד הדורש חשיבה מערכתית 27
- איור 4: תהליך יצירת שאלון לזיהוי חשיבה מערכתית באמצעות תמונות..... 28

רשימת טבלאות

- טבלה 1: המרכיבים התאורטיים והיישומיים של היבטי חשיבה מערכתית-הנדסית 20
- טבלה 2: כשירות 2.2 לפי Arnold & Wade - שמירה על הגבולות של המערכת..... 22
- טבלה 3: "הרגלים" של חושב מערכתי (Waters Center) 22

1. קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית – רקע

קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית הוקמה במסגרת מוסד נאמן למחקרי מדיניות לאומית, בשיתוף עם מרכז גורדון להנדסת מערכות והאיגוד הישראלי להנדסת מערכות ביוני 2023. קבוצת העבודה מהווה חלק מפעילות הפורום לחינוך מהנדסים המנוהלת במוסד נאמן וייעודה הוא להביא להטמעה של חשיבה מערכתית כמיומנות יסוד של מהנדסים ומדענים לקידום רב-תחומיות ומנהיגות בתעשייה ובמחקר.

מטרות קבוצת העבודה:

1. פיתוח ידע אקדמי ומעשי (הגדרות, כלים ושיטות, חקרי מקרה) בתחומי חשיבה מערכתית, רב תחומיות ומנהיגות.
2. ניתוח פערים, הזדמנויות ואתגרים ביישום חשיבה מערכתית.
3. יצירת מאגרי ידע בחשיבה מערכתית בתחומים ועולמות תוכן שונים.
4. הגדרת כשירויות עיקריות הנדרשות בחשיבה מערכתית.
5. גיבוש תכניות הכשרה לחשיבה מערכתית במסגרות שונות כגון אקדמיה, תעשייה, הכשרה לאורך החיים (Life-long learning).
6. סיוע הדדי ביישום חשיבה מערכתית במסגרות שונות.
7. ייזום מחקרים משותפים בתחומי חשיבה מערכתית.
8. בחינה והערכה של שילוב חשיבה מערכתית ורב-תחומיות במנהיגות הנדסית.

בפעילות קבוצת העבודה משתתפים מעל 50 מומחים מתחומים מגוונים מהארץ ומחו"ל (רשימת משתתפים – בנספח א'). במסגרת קבוצת העבודה התקיימו מפגשים, פורומים והרצאות של מומחים בארץ ומחו"ל (רשימת מפגשים ופעילויות בנספח ב'). בנוסף לכך מתקיימת פעילות ערה בקבוצות קטנות ומול מומחים רלוונטיים בין המפגשים לצורך גיבוש ועדכון תוצרים ומסמכים.

2. מטרות ומבנה המסמך

מטרת המסמך היא לשרת את מטרות קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית כפי שמתוארות בפרק 1 לעיל על ידי:

1. גיבוש הגדרה יישומית של חשיבה מערכתית לעולמות המדעים וההנדסה.
2. הצגת תוכניות הכשרה רלוונטיות להקנייה של חשיבה מערכתית למדענים ומהנדסים.

מסמך זה **אינו מהווה סקר ספרות** ואינו מקיף את כלל הגישות, הכלים והמתודולוגיות הקשורים לעולמות החשיבה המערכתית. הסיבה לכך היא המגוון הרחב של הגדרות לחשיבה מערכתית שניתנו לאורך השנים, עושר הכלים והמתודולוגיות הכוללים היבטים של ראייה מערכתית בתחומים שונים. קשה להקיף באופן ממצה את הידע שנוצר אי פעם בעולמות החשיבה המערכתית, וקשה עוד יותר לייצר השוואה נאמנה של התועלות בכלים שונים מול אתגרים או בעיות מעבר לאוסף האדיר של יישומים ודוגמאות להפעלה של חשיבה מערכתית בתחומים שונים.

המטרה שלנו היא להציע **בסיס להקניית כישורי חשיבה מערכתית** בחינוך הנדסי ומדעי. לצורך כך נציג בקצרה ובעברית ממצאים ממספר עבודות שהוצגו לקבוצת העבודה במהלך המפגשים, ולצייד מובאות מעבודות נוספות שנסקרו, בין אם הגדרות של גופים בינלאומיים כגון INCOSE או הפניות לפורומים וחוקרים בארץ ובעולם. כאמור, אין בכך כדי לגרוע מכך שישנן עבודות רבות נוספות שעשויות להתאים יותר לעולמות נוספים.

המסמך כולל שני חלקים מרכזיים:

1. **הגדרות, תהליך (מתודולוגיה) וכלים** בתיאור קצר וממוקד שיאפשר הטמעה לעולמות המדע וההנדסה (על בסיס עבודות קודמות ותוך ציון הפניות למקורות ולשיטות נוספות).
2. **גישות ואמצעים להקניית חשיבה מערכתית** (באופן תמציתי, על בסיס עבודות קודמות ותוך ציון הפניות למקורות ולשיטות נוספות).

לצורך המסמך נבחרו מספר שיטות, כלים, מתודולוגיות ועבודות שיובילו את התיאור. אין בבחירה זו כדי לרמוז כי כלים רבים אחרים פחות מתאימים או בעלי ערך קטן יותר. קיים עולם רחב של עבודות ברמה גבוהה שלא נכנסו לסקירה זו. הסיבה שבחרנו להתייחס לעבודות מסוימות ולא אחרות היא היכולת של קבוצת העבודה להכיר לעומק (במפגשים ובהתכתבות עם היוצרים של העבודות) את השיטות והכלים ולהעריך את הישימות שלהם לעבודת מהנדסים ומדענים. באותה המידה יכולנו לגבש מתכונת ותהליכים המשלבים כלים ומתודולוגיות אחרות ואין בבחירתנו כדי להסיק או לחוות דעה על שיטות אחרות.

לאור הסיבה שהצגנו לעיל, השיטות העיקריות לחשיבה מערכתית שאנו מביאים במסמך:

1. **רוברט אדסון:** לפי מספר עבודות שבהן Edson, R. (2008) Systems Thinking. Applied. A Primer. Arlington, VA, USA: Applied Systems Thinking (ASYST) Institute, Analytic Services Inc
2. **רע לביא:** לפי מספר עבודות אקדמיות ויישומיות. מאמר יישומי שמפרט ומדגים את עיקרי השיטה - Rea Lavi (2022), Decarbonizing Ulaanbaatar: Using DIMES-FIRST Methodology to Tackle a

Climate and Sustainability Challenge, Medium
https://medium.com/@realavi_58810/decarbonizing-ulaanbaatar-using-dimes-first-to-tackle-a-climate-and-sustainability-challenge-e8f7e6fee715

השיטות העיקריות להקניית כישורים לחשיבה מערכתית הנסקרות במסמך:

3. **מוטי פרנק, סיגל קורל-קורדובה וענת ניסל-מילר:** לפי מספר עבודות, ובהן Koral Kordova, S., Frank, M. & Nissel, A. (2018). Systems thinking education - Seeing the forest through the trees, *Systems*, 6(3), (1-14). <https://doi.org/10.3390/systems6030029>
4. **ג'ון וייד ורוס ארנולד:** לפי מספר עבודות, ובהן Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2017). A Complete Set of Systems Thinking Skills, *INCOSE International Symposium* 27(1):1355-1370

מקורות נוספים שבהם אנו עושים שימוש נרחב:

1. **דונלה מדווס:** מספר מקורות בדגש על מנופי שינוי מערכתי, בהם Meadows, D. (1999), *Leverage points: places to intervene in a system*, The Sustainability Institute
2. **דניאל קים:** מספר מקורות בדגש על מבוא לחשיבה מערכתית, בהם Daniel Kim (1999), *Palette of Systems Thinking Tools*, The Systems Thinker <https://thesystemsthinker.com/palette-of-systems-thinking-tools>

3. מבוא לחשיבה מערכתית

3.1 חשיבה מערכתית – הגדרה

בעשורים האחרונים ישנם פרסומים רבים בנושאי חשיבה מערכתית בהקשרים מגוונים, בעיקר בהקשר לאתגרים חברתיים וכלכליים מורכבים כגון משבר האקלים או תכנון מערכי תחבורה. רבים מן הכותבים בתחומי החשיבה המערכתית מציינים את הממשק לחשיבה ביקורתית, ניתוח בעיות כמו גם תקשורת, יצירתיות ושיתופיות.

לאורך השנים ניתנו הגדרות רבות לחשיבה מערכתית. כמה מהגדרות אלו מובאות בנספח ב' לעבודתו של רוברט אדסון (Edson, 2008) ובנספח ג' למסמך זה. לאור טבעה הרחב של החשיבה המערכתית, גם הגדרותיה נוטות באופן כללי לנסות לתאר היבטים שונים של החשיבה המערכתית, לכלול רשימות של נושאים או מאפיינים ולהכיל מגוון של תחומים רלוונטיים.

חשיבה מערכתית במקרים רבים מבוססת על ניסיון מעשי בתחום העיסוק וקיימת שונות רבה בהבנה של תכולות, כלים ושיטות בתחום – אין תמימות דעים גם על הגדרה לחשיבה מערכתית. לצד זאת, ניתן לציין ברבות מן ההגדרות את הפירוש הלשוני של חשיבה **מערכתית**, כלומר התייחסות לתופעות, מבנים, תהליכים ופעילויות היא כאל מערכת. ואכן בחלק ניכר מן ההגדרות קיים ביטוי למאפיינים של מערכות – מרכיבים ויחסי גומלין ביניהם, התנהגות לאורך זמן, פעולה למען השגת מטרה ועוד מאפיינים רבים נוספים.

האיגוד העולמי להנדסת מערכות INCOSE קובע כי: **חשיבה מערכתית עוסקת בהבנה או התערבות במצבים בעייתיים על בסיס פרדיגמה מערכתית**¹. לצורך המשך הדיון נציע כי חשיבה מערכתית היא גישה וכלים לניתוח תופעות ותהליכים מורכבים כבסיס לפתרון בעיות, קבלת החלטות, תכן הנדסי ומגוון מטרות נוספות.

מאחר וחשיבה מערכתית קשורה בקשר הדוק למושג מערכת – נגדיר מושג זה בסעיף הבא.

3.2 מערכת כבסיס לחשיבה מערכתית

לפי האיגוד העולמי להנדסת מערכות (INCOSE²) מערכת היא "אוסף של חלקים או רכיבים אשר יחדיו מציגים התנהגות או משמעות שאינה מוצגת על ידי הרכיבים בנפרד". תמצית ההגדרה של INCOSE מובאת ב-2017, Sillitto et al, כך: "*a system is a purposeful whole that consists of interacting parts*".

הגדרות אלו מציינות מספר היבטים חשובים של מערכות:

1. **מבנה המערכת** – שניים או יותר מרכיבים של המערכת הקשורים זה לזה ומקיימים יחסי גומלין.
2. **התנהגות המערכת** – האופן שבו המערכת פועלת לאורך זמן ובהתאם לאינטראקציה עם סביבתה.
3. **מטרה / משמעות / פונקציה של המערכת** – אוסף המשימות שהמערכת אמורה לבצע ולשמן נוצרה. יחסי הגומלין בין המרכיבים של המערכת היא תכונה מהותית המבדילה בין מערכת לאוסף/ערימה של חלקים. המחשה פשוטה שמופיעה אצל (Kim, 1999) עומדת על ההבדל בין אוסף כגון קערת פירות למערכת כגון קבוצת כדורגל. מקורות נוספים שמים דגש על המערכת השלמה הנוצרת על ידי החלקים שלה וחיוניותם לאותו שלם (כגון גוף האדם כמערכת). אלא שאלו תלויים ברמת ההתייחסות (רזולוציה) ונקודת מבט (לדוגמה, עבור מיקרוביולוג – קערת פירות היא מערכת עם יחסי גומלין מורכבים, ועבור הצייר – קערת הפירות היא מערכת אסתטית שכל מרכיב בה הוא חיוני ליצירת רושם משותף).

מבנה, התנהגות ופונקציה הם רק חלק מהמאפיינים של מערכות. נציין מספר מאפיינים נוספים של מערכות:

1. **גבולות יחסי גומלין** של המערכת עם סביבתה.
2. **התהוות (Emergence)** – תכונות המופיעות כאשר המערכת פועלת כחלק ממערכת-על גדולה יותר.
3. **נקודות מבט** – ריבוי פרספקטיבות על המערכת ופעולתה בהתאם לבעל העניין, התוצר הנדרש וההקשר של המערכת.

מאחר והגדרנו כי חשיבה מערכתית היא התייחסות לתופעות, מבנים, תהליכים ופעילויות כאל מערכת – אנחנו יכולים לקבוע שמשמע מכך לבחון את המבנה, ההתנהגות והמשמעות / פונקציה של תופעות, מבנים, תהליכים ופעילויות, לצד גבולות יחסי גומלין, התהוות ונקודות מבט.

¹ Systems thinking is concerned with understanding or intervening in problem situations, based on the principles and concepts of the systems paradigm, https://sebokwiki.org/wiki/Systems_Thinking

² <https://www.incose.org/about-systems-engineering/system-and-se-definition/system-and-se-definitions>

3.3 נקודות מבט על מערכות

במקורות רבים בעולמות החשיבה המערכתית נפוצה האנלוגיה של ראייה בו-זמנית הן של היער והן של העצים³. הרעיון שאפשר להבין את הפרטים רק ביחד עם המערכת ולהיפך והמערכת כולה וחלקיה נמצאים בדיאלוג מופיע ב-(Subrahmanian et al., 2020). הכוונה היא לראות את התמונה השלמה לצד הרכיבים של המערכת והיחסים ביניהם, מתוך מחשבה שחלק מהתכונות של המערכות בשלמותן אינן באות לידי ביטוי מספיק כשמפרקים אותה לרכיבים.

בעבודתו של רוברט אדסון (Edson, 2008) מצוין כי חלק מהתכונות של מערכות, כגון גבולות, יחסי גומלין ונקודות מבט, קשורות בהסתכלות על המערכת כיחידה, גישה המכונה לעיתים ראייה הוליסטית או סינרגטית. תכונות אחרות, כגון מבנה, התנהגות ופונקציה, עוסקים בניתוח המערכת ומרכיביה בגישה אנליטית או הנדסית. שתי נקודות מבט אלו משמשות לניתוח, חקר וביחנה של מערכות, פעם מהמערכת פנימה, פעם מהמערכת החוצה ויוצרות מפה שלמה של ניתוח מערכתי.

מאחר וחשיבה מערכתית כוללת הסתכלות על תופעות כעל מערכות – ניתוח ממצה כולל בחינת החלקים של המערכת או תיאורים הקשורים בה. לאורך השנים נוצרו רשימות רבות ומגוונות של תיאורים כאלו. רשימה אחת כזו מופיעה אצל (Edson, 2008) וכוללת את ההיבטים הבאים:

1. **Boundary, Interior, Exterior** – גבול, חוץ, פנים.
2. **Inputs, Outputs, Transformations** – קלט, פלט, טרנספורמציות.
3. **Wholes, Parts, Relationships** – שלמים, חלקים, יחסים
4. **Structure, Function, Process** – מבנה, פונקציה, תהליך.
5. **Command, Control, Communications** – פיקוד, שליטה, תקשורת.
6. **Variety, Parsimony, Harmony** – מגוון, צמצום, הרמוניה.
7. **Openness, Hierarchy, Emergence** – פתיחות, היררכיה, התהוות.

אם נחזור להגדרת החשיבה המערכתית נראה, שהפעלת חשיבה מערכתית לפתרון בעיות, קבלת החלטות או תכן הנדסי – משמעותה ניתוח והתייחסות בהתאם לעניין להיררכיה של המערכת, למנגנוני פיקוד ושליטה, לגבולות המערכת והיבטים נוספים. **בנספח ד'** הבאנו רשימות נוספות של נושאים הראויים להתבוננות במערכות או קבוצות נוספות של מאפיינים להתייחסות. חלקם חופפים לרשימה שהבאנו לעיל וחלקם מוסיפים עליה, והרעיון המשותף בכולם הוא התייחסות לתופעות, מבנים, תהליכים ופעילויות דרך בחינה של מאפיינים אלו.

מכאן, שהתייחסות היא חלק מחשיבה מערכתית.

³ לדוגמה - <https://thesystemsthinker.com/the-thinking-in-systems-thinking-how-can-we-make-it-easier-to-master>

3.4 דוגמה להפעלת חשיבה מערכתית: חשיבה מערכתית על חשיבה מערכתית

כשמסתכלים על טיל, מטוס או רכב כעל מערכת – רבים מן הנושאים שתיארנו לעיל ברורים ומובנים. אלא שכאשר עוסקים בתופעות, מבנים, תהליכים ופעילויות – לעיתים קשה יותר להצביע על תכונות ומאפיינים מערכתיים.

לכן, כדי להמחיש את היכולת להפעיל חשיבה מערכתית על תופעות ותהליכים ניקח את החשיבה המערכתית עצמה כמקרה בוחן ונסתכל עליה באופן רפלקסיבי (Reich, 2017) כעל מערכת, כלומר נפעיל חשיבה מערכתית על חשיבה מערכתית, לפי (Arnold & Wade, 2017).

נתחיל בזיהוי כמה מהמאפיינים מערכתיים שציינו בסעיפים הקודמים:

1. **מבנה:** מה כוללת החשיבה המערכתית (ולעומת זאת מה היא אינה כוללת, כלומר מה הגבולות בינה לסביבתה)?
2. **התנהגות:** מה האופן שבו החשיבה המערכתית פועלת לאורך זמן ובהתאם לאינטראקציה עם סביבתה?
3. **מטרה / משמעות:** מהו אוסף המשימות שהחשיבה המערכתית מיועדת לעסוק בהן?

נתחיל מהגדרת גבולות והסביבה של החשיבה המערכתית, כלומר ננסה לאתר את היישויות הרלוונטיות שמחוץ לחשיבה המערכתית. ניתן למצוא יישויות כאלו למשל בדוחות של הפורום הכלכלי העולמי. בתרשים מס' 2 בדוח על חינוך 4.0⁴, החשיבה המערכתית מופיעה כחלק מיכולות וכישורים קוגניטיביים (אנליטיים), לצד כישורים כגון יצירתיות, חשיבה ביקורתית, כישורים דיגיטליים ותכנות ופתרון בעיות. קבוצות כישורים נוספות המופיעות בפרסום הן כישורים חברתיים (בין-אישיים) וביניהם שיתוף פעולה, תקשורת, משא ומתן ומודעות חברתית-רגשית, וכישורים פיסיים הכוללים איזון, קואורדינציה, מודעות מיקומית וכוח.

דוח נוסף של הפורום הכלכלי העולמי בנושא עתיד העבודה⁵ ממקם את החשיבה המערכתית תחת קבוצת הכישורים הקוגניטיביים, לצד חשיבה אנליטית, חשיבה יצירתית, רב-לשוניות, קריאה, כתיבה ומתמטיקה.

מה המבנה והמרכיבים של החשיבה המערכתית? לדוגמה, לפי המיפוי שהציע רוברט אדסון, חשיבה מערכתית מורכבת מ-7 היבטים המערכתיים שסקרנו לעיל שמקיימים ביניהם קשרי גומלין. כמובן שישנן גישות אחרות המציינות מרכיבים רבים נוספים ונקודות מבט משלימות להיבטים אלו.

מהי ההתנהגות של חשיבה מערכתית? זהו האופן שבו החשיבה המערכתית מופעלת לאורך זמן. מדובר בזיהוי מאפיינים מערכתיים והפעלת כלי חשיבה מערכתית לניתוח תופעות ותהליכים.

מהי הפונקציה של החשיבה המערכתית? לפי ההגדרה לעיל, זוהי הבנה של מערכת, יכולת ניתוח כשלים, יכולת חיזוי התנהגות ובאופן כללי פתרון בעיות, קבלת החלטות, תכן הנדסי ומגוון מטרות נוספות. נראה שהתוצרים הספציפיים תלויים בתחום היישום. לדוגמה, בעולם המערכות הטכנולוגיות החשיבה המערכתית משמשת לתכן, ניתוח ופיתוח מערכות (ומכונה לעיתים קרובות הנדסת מערכות). לעומת זאת, בתחומים אחרים יישומי חשיבה מערכתית הם ניתוח מערכתי ופיתוח מערכות בריאות, מערכות חינוך ועוד.

⁴ Defining Education 4.0: A Taxonomy for the Future of Learning, World Economic Forum, January 2023

⁵ Future of Jobs Report 2023, World Economic Forum, May 2023

בחלק זה סקרנו את הגבולות, מבנה, התנהגות והפונקציה של חשיבה מערכתית. ניתן כמובן להרחיב את הדיבור על מאפיינים רבים נוספים, אם בהתאם לתפיסה של רוברט אדסון ובין אם לפי מקורות נוספים, בהתאם למטרה ולהיקף הנדרש. ניתוח זה מדגים שחשיבה מערכתית יכולה להביא ערך משמעותי לתהליכי ניתוח בעיה, גיבוש וניתוח קונספטים ותיקוף המערכת בסביבתה המיועדת, גם כשמדובר בתהליכים או תופעות ולא במערכת טכנולוגית או הנדסית.

4. חשיבה מערכתית יישומית

4.1 גישות לבעיה מערכתית

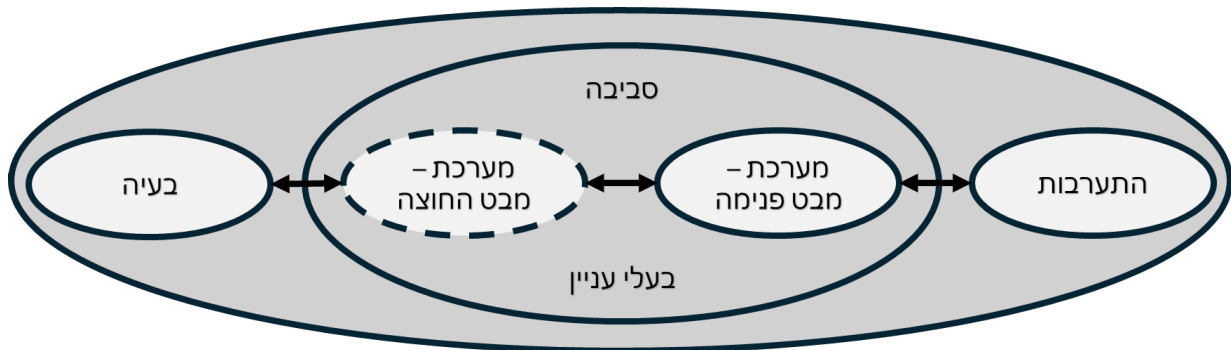
לאורך השנים פותחו גישות רבות לניתוח בעיות מורכבות, מערכתיות ורב-תחומיות במגוון תחומי דעת. בין תחומים אלו ניתן לציין עולמות כגון עסקים וכלכלה, אסטרטגיה ומדיניות, סביבה, בריאות ותחבורה. מתודולוגיות שפותחו לתחומים אלו משתמשות בכלים וגישות של חשיבה מערכתית באופנים שונים בהתאם לתחום ולשלב הניתוח.

בעיות הדורשות חשיבה מערכתית מכונות לעיתים Wicked Problems, כשהכוונה היא לצירוף של המורכבויות שצוינו לעיל, לפי הגדרה המופיעה ב: (Rittel & Webber, 1973). קמילוס (Camilus, 2008) מציין מספר מאפיינים של בעיה מורכבת – לדוגמה, מספר רב של בעלי עניין עם עדיפויות סותרות, שורשים / מקורות מסובכים, השתנות מתמדת ובפרט בתגובה להתערבות, היעדר התמודדות עם הבעיה לפני כן ויכולת מוגבלת לשערך האם ההתערבות תפעל כמצופה ותצלח. Olivier de Weck ואחרים (2021) מציעים כי מערכת מורכבת כוללת מספר רב של מרכיבים עם קשרים דינמיים ולא ליניאריים ביניהם. במערכות כאלו ישנה אינטראקציה מערכתית בין רכיבים שמקשה על ניתוח וחיזוי.

הבחנה נפוצה בעולמות החשיבה המערכתית היא בין **ניתוח הבעיה** לבין **תכן הפתרונות**. יש המכנים גישות אלו בהתאמה שיטות מערכתיות קשות ושיטות מערכתיות רכות (Hard Systems Methods, Soft Systems Methods) – לדוגמה אצל אדסון (Edson, 2014). כמובן ששיטות אלו פועלות תוך יחסי גומלין הדוקים ומשלימות זו את זו בהתאם לשלב ולמשימה לאורך התהליכים.

קיימות גישות ושיטות רבות לניתוח הבעיה ותכן הפתרונות המדגישות מגוון היבטים של חשיבה מערכתית. דוגמה אחת היא מתודולוגיה לחשיבה מערכתית הנדסית יישומית שפותחה ע"י אדסון (Edson, 2014). בשיטתו ארבעה שלבים עיקריים (איור 1):

1. **ניתוח הבעיה:** הבנת התופעה או התהליך הדורש שינוי.
2. **ניתוח חיצוני** (מערכת – מבט החוצה): הבנת המערכת כשלם בסביבתה ומול בעלי העניין.
3. **ניתוח פנימי** (מערכת – מבט פנימה): הסתכלות על המבנה, יחסי הגומלין, תהליכי השינוי והבקרה במערכת.
4. **זיהוי אופני התערבות:** איתור וניתוח נקודות ההשפעה (Leverage points) המערכתיות.



איור 1: מתודולוגיה כללית לחשיבה מערכתית (עיבוד לפי רוברט אדסון)

השלב במתודולוגיה של אדסון הם איטרטיביים, משלימים זה את זה ומשפיעים זה על זה. ניתן לעבור מכל שלב לכל שלב אחר מבלי לוותר על ראיה שלמה של הבעיה והפתרון וההשפעות ההדדיות ביניהם.

מתודולוגיה נוספת וידועה פותחה ע"י Peter Checkland (1990) ומכונה Soft Systems Methodology. להלן השלבים העיקריים בשיטה זו:

1. **Identify the problem situation** – זהה את הבעיה.
2. **Describe the problem situation** – תאר את הבעיה.
3. **Develop key definitions** – פתח הגדרות מרכזיות של הבעיה.
4. **Create conceptual models** – פתח את המודלים הקונספטואליים של הבעיה.
5. **Compare conceptual models to reality** – השווה בין המודלים הקונספטואליים למציאות.
6. **Assess feasibility and define changes** – הערך ישימות והגדר שינויים אפשריים ליישום.
7. **Take action to implement proposed changes** – פעל להטמעת השינויים המוצעים.

מתודולוגיה נוספת למענה לבעיות שאינן מוגדרות היטב הוצעה ע"י רע לביא (2022) וכוללת שלבים לפי ראשי תיבות FIRST-DIMES:

DIMES (problem structuring)

1. **Describe** – תיאור הבעיה בקצרה ובשפה פשוטה.
2. **Inquire** – חקירה מעמיקה של הבעיה באמצעות שיטת 5W (באמצעות השאלות מי? מה? איפה? מתי? למה?)
3. **Model** – מידול תפיסתי של הבעיה לפי רמות (היררכיה).
4. **Extract** – מציאת נקודות התערבות אופטימליות באמצעות המודל.
5. **State** – הצגת הבעיה בהתבסס על נקודות ההתערבות שזוהו.

FIRST (problem solving)

1. **Formulate** – יצירת קריטריונים להערכת חלופות.
2. **Ideate** – יצירת רעיונות באמצעות אנלוגיות ואתגור הנחות על הבעיה.

3. **Refine** – עדכון רעיונות ושיפור השימות תוך איחוד קטגוריות.
4. **Score** – דרוג הרעיונות על פי השימושיות בהתאם לקריטריונים שנקבעו.
5. **Transcend** – המרת ייצוג הפתרון בראיה מערכתית (מיפוי למסגרת system architecture-function- SAFO outcome) כחלק מהפעולות המקדימות לתכן.

מתודולוגיית ICDM - Integrated, Customer Driven, Conceptual Design Method היא שיטה לתכן קונספטואלי של מוצרים ושירותים חדשניים. המתודולוגיה פותחה ע"י עמי הרי, מנחם וייס ואביגדור זוננשיין (Weiss et al., 2002) לתכן מערכות ומוצרים. השלבים המרכזיים במתודולוגיה:

1. **Identification of Customers and their Needs** – זיהוי הלקוחות וצרכיהם.
2. **QFD (Quality Translation of VOC (Voice of Customer) into Product Definition (Function Deployment)** – תרגום קול הלקוח להגדרת המוצר.
3. **Abstraction** - הפשטה (אבסטרקציה).
4. **Creation of solutions to the Basic Problems** – יצירת פתרונות לבעיות בסיסיות.
5. **Designation of the Concept Evaluation Criteria** – הגדרת קריטריונים להערכת קונספטים.
6. **Synthesis of the Primary Concepts** – סינתזה של הקונספטים הראשיים.
7. **Main Concepts Selection** - בחירת הקונספטים הראשיים.
8. **Design and Analysis of all the selected** - תכן וניתוח של הקונספטים הנבחרים.
9. **Final Concept Selection** – בחירת הקונספט הסופי.
10. **Launch the Project** – התנעת הפרויקט.

מהשוואה בין הגישות והמתודולוגיות לעיל נראה שחלק מהמתודולוגיות עושות שימוש במונחים שונים לשלבים דומים, כמו גם השילוב בין שלבי ניתוח הבעיה לתכן הפתרונות. לדוגמה, שלב זיהוי הלקוחות וצרכיהם ב-ICDM דומה לשלב Describe אצל לביא, חקר הבעיה אצל אדסון וזיהוי המצב הבעייתי אצל Checkland. לכאורה, השיטה של Checkland נוטה לכיוון חקר הבעיה, אך כוללת מרכיבי פעולה להטמעת השינוי שמתאימים יותר לצד תכן הפתרונות. חלק מהשיטות מייצגות תהליך שהוא עקרונית טורי (לדוגמה, ICDM או Dimes-First), חלק מהשיטות – תהליך עם משוב (לדוגמה Checkland) וחלק – תהליך איטרטיבי ומקבילי (אדסון). עם זאת, בכל השיטות קיימת האפשרות לחזור אחורה בשלבים או לרדת ברמת הפירוט ולעדכן את הגדרת הבעיה והתכן בהתאם לממצאים ולאילווצים.

בחלק מהשיטות מופיע במפורש נושא של מציאת נקודות התערבות. זהו אינו רעיון חדש המופיע במגוון הקשרים לאורך ההיסטוריה (למשל Reich, 2023). עבודה ידועה של (Meadows, 1999) מפרטת 12 נקודות התערבות, או נקודות שינוי מערכת. המושגים לקוחים מתוך שפת המודלים של דינמיקת מערכות (systems dynamics) ורלוונטיים בעיקר למידול מערכות כזה. מודלים אחרים יביאו לזיהוי נקודות אחרות. המשגה של המהלכים העקרוניים שניתן ליישם ברמת המערכת ורמת ההשפעה העקרונית שלהם כוללת רשימה של 12 סעיפים, המסודרים מרמת ההשפעה הקטנה ביותר על המערכת אל רמת ההשפעה הגדולה ביותר:

1. Constants, parameters, numbers (such as subsidies, taxes, standards) – קבועים, פרמטרים, מספרים.
2. The sizes of buffers and other stabilizing stocks, relative to their flows – גודל המאגרים ביחס לזרימה.
3. The structure of material stocks and flows (such as transport networks, and population age structures) – מבנה המאגרים והזרימות.
4. The lengths of delays, relative to the rate of system change – אורך ההשהיות, ביחס לקצב השינוי במערכת.
5. The strength of negative feedback loops, relative to the impacts they are trying to correct against – עוצמת לולאות המשוב השלילי ביחס לתופעות שאותן הן מאזנות.
6. The gain around driving positive feedback loops – ההגבר של לולאות משוב חיוביות.
7. The structure of information flows (who does and does not have access to information) – המבנה של זרימת המידע (למי יש ולמי אין גישה למידע).
8. The rules of the system (such as incentives, punishments, constraints) – כללים של המערכת, כלומר תמריצים, עונשים ומגבלות.
9. The power to add, change, evolve, or self-organize system structure – הכוח להוסיף, לשנות, לפתח או לארגן את מבנה המערכת.
10. The goals of the system – המטרות של המערכת.
11. The mindset or paradigm out of which the system – its goals, structure, rules, delays, parameters – arises – הפרדיגמה שממנה צומחת המערכת (מטרות, מבנה, כללים, השהיות ופרמטרים).
12. The power to transcend paradigms – הכוח לשינוי פרדיגמה.

לעיתים קרובות הפעלת התערבות בהשפעה נמוכה היא קלה יחסית, והפעלת התערבות מהותית היא קשה יותר. זוהי מסגרת מושגית המתאימה למגוון רחב של בעיות ויישומים, ועל כן גם שינוי בפרמטר או מספר לעיתים יכול להתגלות כקשה מאוד עד בלתי אפשרית הנדסית, ולעומת זאת שינוי המטרות או הפרדיגמה בבסיס המערכת עשוי להיות מעשי ומתאים לסיטואציה.

מספר מקורות מחלקים את 12 נקודות השינוי בחלוקה לשתי קבוצות: נקודות שינוי עמוק (ממוספרות 7-12 ברשימה לעיל) – דורשות התגברות על קושי ומאמץ רב אך בעלות פוטנציאל השינוי הגדול ביותר, לצד נקודות שינוי קלות יותר ליישום (ממוספרות 1-6 ברשימה לעיל) אך גם השינוי הצפוי מהפעלתן הוא קטן יותר.

4.2 כלים לניתוח מערכתי

קיימים כלים רבים מסוגים שונים שיכולים לשמש לחשיבה מערכתית. רשימה נאה של מספר כלים נפוצים מצויה בקובץ "שינוי מערכתי – הלכה למעשה" בעריכת ליאת בן משה וריטה גולשטיין-גלפרין ממרכז קיימא באוניברסיטת חיפה (2023). הכלים המובאים שם בעיקרם מעולמות ניתוח הבעיה אך כוללים גם זיהוי נקודות מינוף ומטריצת אימפקט.

דניאל קים (1999) כתב, שאפשר לחשוב על כלי החשיבה המערכתית בדומה להתבוננות של צייר בצבעים. כשם שישנם גוונים רבים מאוד שנוצרו משלושה צבעי יסוד, כך גם ישנם כלים רבים לניתוח מערכתי ששייכים למספר קטגוריות וניתן לשלב ביניהם, להתאים ולפתח בהתאם לצורך ולמערכת. קים (2000) מציין, בין היתר, את משפחות הכלים הבאות:

כלים דינמיים

1. דיאגרמות התנהגות לאורך זמן (Behavior over time diagram)
2. דיאגרמת לולאות סיבתיות (Causal loop diagrams)
3. תבניות מערכות (Systems Architypes)

כלים סטטיים

1. דיאגרמה גרפית של הפונקציה (Graphical function diagram)
2. זוג מבנה-התנהגות (Structure-behavior pair)
3. דיאגרמת מדיניות-מבנה (Policy structure diagram)

לכלים לעיל ניתן להוסיף מספר מודלים מנטליים שפותחו לאורך השנים בתחומי חשיבה מערכתית. מודלים אלו מופיעים במספר רב של מקורות בשינויים ווריאציות שונות. דוגמה אחת היא מתוך אתר של מרכז ווטרס לחשיבה מערכתית⁶ העוסק בפיתוח והטמעת חשיבה מערכתית:

1. **מודל הקרחון - Iceberg model** (מתאר את הרבדים הנוספים מעבר לאירוע הנצפה – תבניות התנהגות, מבנה המערכת ומודלים מנטליים). מודל זה מציין את האירועים (Events) כעין קצה 'קרחון' מעל המים, בעוד שהחלק הגדול של הקרחון (המוסתר מתחת למים) כולל תבניות התנהגות, מבנה המערכת ומודלים מנטליים.
2. **סולם ההסקה - Ladder of inference** (מתאר את יחסי הגומלין בין פעולות לרבדים של אמונות ותפיסות). במודל שסה שלושה שלבים: פעולה, אמונה ותפיסה, כאשר בין שלב האמונה לשלב התפיסה פועלת לולאה רפלקסיבית המבטאת את השפעת האמונה על התפיסה.

לסיכום חלק הכלים נראה שוב כי מגוון הכלים הוא רחב מאוד בהתאם לשלב בניתוח הבעיה ותכן הפתרון ותחום היישום. המשותף בין הכלים הוא הדגשת מעגלי המשוב והשפעות ההדדיות, חיבוריות וראיית התמונה השלמה והמלאה, סינתזה וקשרי גומלין.

⁶ <https://waterscenterst.org/dashboard>

4.3 חשיבה מערכתית יישומית

רוחב היריעה ומגוון המתודולוגיות והכלים מאפשר עיסוק בחשיבה מערכתית כמעט בכל תחום, היקף, שלב או מטרה.

עם זאת, חשוב לנו להציג קו מרכזי הכולל כלים שימושיים שראינו ופגשנו ושיהיו מותאמים לעולמות המהנדסים והמדענים. אין כוונה לפתח כלים או מתודולוגיות אלא לבחור ולהתאים את הקיים לשימוש בחינוך הנדסי ומדעי. אין כוונה לסקור את כלל הכלים והשיטות האפשריים. ההצגה היא יישומית ולא מחקרית, כלומר בדרך של חקר מקרה ולא השוואה בין כלים (למשל, מה הכלי או השאלון המתאים ביותר מול מטרה מסוימת).

הנחות יסוד להצגה היא כי חשיבה מערכתית משמעותה בחינה של נושא כמערכת וניתוח מאפיינים של הבעיה ושל הפתרונות האפשריים.

שלבם בחשיבה מערכתית יישומית:

1. **ניתוח הבעיה** (באופן המנותק מהמערכת ו/או בשילוב מערכת כקופסה שחורה).
2. **עיצוב הפתרון** (רכיבים, יחסי הגומלין ביניהם, מנופי התערבות/שינוי והשפעתם ההדדית).
3. **חזרה על התהליך** עם הירידה לפרטים (תתי רכיבים) או עליה לרמה מערכתית.

כפי שכתבנו לעיל, בכל שלב ניתן לעבור אחורה או קדימה בתהליך, להפעיל כלים ושיטות מכל סוג בהתאם לצורך וכך לייצר ראייה שלמה ומערכתית של התהליך או התופעה המשתנה והמשפיעה במספר רמות בתוך המערכת ובסביבתה.

4.4 היבטי חשיבה מערכתית – תובנות מומחים

במחקר שנערך במרכז גורדון בשנים 2010-2012 וסוכם בספר "מהקונקורד לכיפת ברזל-ניהול מערכות טכנולוגיות במאה ה-21" (זוננשיין ושטאובר, 2014) נבחנו דרכי היישום של הנדסת מערכות בעשרות ארגונים ופרויקטים בארץ ובעולם. המחקר בוצע על ידי ראיונות מעמיקים עם למעלה מ-20 מומחים מגוונים להנדסת מערכות בארץ.

אחת התובנות שעלתה בראיונות אלו היא שחשיבה מערכתית היא מרכיב חיוני בהנדסת מערכות. המרואיינים פירטו את ההיבטים המגוונים של חשיבה מערכתית, ובין היבטים אלו צוינו:

- ראיית השלם.
- הסתכלות ובחינה מלמעלה למטה.
- חשיבה רב-תחומית.
- תקשורת דו-כיוונית, ויצירת שפה משותפת עם כל הדיסציפלינות ובעלי העניין.
- הבנת ויישום מודל ה-T להנדסת מערכות.
- הרחבת גבולות המערכת וגבולות הזמן.

- לימוד והבנת הממשקים בין חלקי המערכת והאקו-סיסטם.
- חשיבה אסטרטגית לטווח ארוך ותכנון מערכתי בתהליך PDCA - Plan, Do, Check, Act.

היבטי שילובים שצוינו בהקשרי חשיבה מערכתית:

- שילוב היבטים קשים ורכים.
- שילוב היבטי ניהול והיבטי מנהיגות.
- שילוב פעילויות יחידניות ופעילויות בצוותים.
- שילוב המעשי עם המופשט.
- שילוב וודאות ואי-וודאות.
- שילוב תהליכים מובנים ומבוססים עם תהליכים חדשניים ויצירתיים.
- שילוב סיכונים והזדמנויות.
- שילוב גישות ותהליכים פרואקטיביים.
- שילוב תהליכים איטרטיביים ואג'יליים.

5. כישורי חשיבה מערכתית

5.1 חשיבה מערכתית כחלק מגישת המערכות

"גישת המערכות" מוצגת בעבודותיהם של חוקרים שונים הרואים גישה זו כתיאוריה או כפילוסופיה שלמה (Kats & Kahn, 1966; Senge, 1994; Dror, 1984). מאז נוסדה לפני למעלה מ-40 שנה מפתחת גישה זו את מושגיה ועוברת תמורות חשובות. אחת התמורות בגישת המערכות, למשל באה לידי ביטוי בבחירת האנלוגיות: בתחילה אפיינו אותה אנלוגיות מכניות (כגון: מכונות), לאחר מכן נהגה להשתמש באנלוגיות ביולוגיות של אורגניזמים חיים, של בני אדם ובהמשך אופיינה הגישה בהתייחסות לעולם וסביבתו כמערכת.

המונח "מערכת" אינו ספציפי לדיסציפלינה כלשהי. ההקשר הראשוני של המונח "מערכת" הוא עם איזו שלמות שיש בה סדר, דהיינו, שבין החלקים המרכיבים את השלם יש קשרי גומלין מאורגנים ולא מקריים. השימוש המדעי, כמו גם השימוש היומיומי במונח "מערכת" מתייחס למובן של סדר וארגון, בין אם מדובר במערכות טבעיות ובין אם במעשה ידי אדם, מוחשיות או מושגיות (בן ברוך, 1980). בדומה לכך שהמונח "מערכת" מורה על תפיסה הוליסטית של יחסי הגומלין והתלות ההדדית, הן של השלם והן של החלקים שבו, גם המושג "חשיבה מערכתית" עוסק בראיית השלם ולפיה ניתן לראות ולהבין פונקציונלית את התמונה הכוללת מבלי להזדקק להבנה מעמיקה של כל הפרטים המרכיבים אותה. חשיבה מערכתית מאפשרת לנו לצאת ממסגרת החשיבה המקובעת ולהרחיבה להתבוננות "מחוץ למסגרת".

5.2 חשיבה מערכתית כמיומנות חשיבה גבוהה

בדיון בכישורי חשיבה בכלל ובכישורי חשיבה מערכתית בפרט נוהגים להפריד בין "כישורי חשיבה נמוכים" כגון שינון מידע או שליפתו מהזיכרון לבין "כישורי חשיבה גבוהים" הדורשים שימוש בפעולות קוגניטיביות מורכבות יותר.

Reznik (1987) הגדירה כישורי חשיבה גבוהים על פי תכונות הניתנות לזיהוי אצל לומדים המפעילים אותם: דפוסי המחשבה והפעולה אינם ברורים מראש, טיפול בבעיות מורכבות, קיום פתרונות מרובים, שימוש בקריטריונים רבים הסותרים לעיתים אחד את השני, חשיבה המופעלת במצבים של חוסר וודאות, פתרונות מקוריים וזיהוי מבנה גם במה שנראה לא מסודר.

הטקסונומיה של בלום מדרגת את החשיבה לשש רמות: ידע, הבנה, יישום, ניתוח, סינתזה והערכה. כאשר שלוש האחרונות נחשבות כישורי חשיבה גבוהים (Bloom, 1956). כדי לפתח מיומנויות חשיבה ברמה גבוהה, כמו שאלת שאלות, תכנון והסקת מסקנות, יש לנקוט בצעדים מתוכננים היטב, כאשר סביבת הלימוד המעוצבת בגישה כזו יכולה לתרום לתובנות שהתלמיד רוכש על התופעות הנחקרות.

בנוסף לכך, ניתן גם להגדיר חשיבה יצירתית כמיומנות חשיבה גבוהה (Reznik, 1987). רבות נכתב על חשיבות היצירתיות בהקשר של תכנון טכנולוגי הנדסי וחשיבות הטיפוח של חשיבה מקורית וחדשנות.

חשיבה מערכתית כוללת מיומנויות חשיבה גבוהות. התכונות העיקריות של מיומנויות אלה באות לידי ביטוי גם בקרב לומדים המפעילים חשיבה זו. על פי Senge (1994), השיטה של פירוק בעיה לגורמים מקלה לכאורה על טיפול במשימות ובסוגיות מורכבות, אבל בעשותנו כך אנו מאבדים את תפיסת השלם, הגדול יותר. חשיבה מערכתית נדרשת בימינו יותר מאשר בעבר, מפני שאנחנו הולכים וכורעים תחת נטל המורכבות ו"התפוצצות האינפורמציה". בנוסף המערכות בכל תחומי החיים הולכות ונעשות מסועפות, מורכבות ודינמיות יותר ויותר.

בספרו The Fifth Discipline מונה Senge (1994) את התחומים בהם יש לטפל כדי ליצור את ה"ארגון הלומד" – פיתוח המומחיות והמצוינות האישית (Personal Mastery) של האנשים בארגון, זיהוי המודלים המנטליים (Mental Models) המשמשים לחשיבה ולקבלת החלטות, יצירת חזון משותף (Shared Vision), פיתוח היכולת ללמידה בקבוצות (Team Learning) ואילו התחום החמישי (The Fifth Discipline) הינו פיתוח החשיבה המערכתית (Systems Thinking).

על פי Senge (1994), חשיבה מערכתית היא תחום העוסק בראיית השלם. חשיבה מערכתית היא תחום הראייה של "המבנים" המונחים ביסודן של בעיות מורכבות ולאבחנה בין שינויים העשויים לחולל שיפורים משמעותיים במאמץ מזערי לבין שינויים שאינם כאלה.

Kim (1995) מונה ארבע רמות הבנה בהן ניתן לבחון מערכת או בעיה מערכתית:

1. **רמת האירוע (Event)** – עליו אנו נדרשים להגיב כאן ועכשיו.
2. **רמת תבנית האירועים (Pattern of Events)** – זיהוי דפוסים חוזרים בסדרה של אירועים.
3. **רמת המבנה השיטתי (Systemic Structure)** – בה אנו מנסים לזהות מה גרם לאירועים החוזרים.
4. **רמת החזון המשותף (Shared Vision)** – בה אנו בוחנים באם החזון הארגוני הוא הגורם למבנה השיטתי הבעייתי שיצר את האירועים החוזרים.

בדרך כלל, בחשיבה רגילה אנו מתמקדים ברמת האירוע בלבד. חשיבה מערכתית מחייבת התבוננות בכל ארבע הרמות בו זמנית.

חשיבה מערכתית הינה חשיבה מדרג גבוה שמאפשרת לפרט לבצע בהצלחה משימות מערכתיות. על מנת לשלב בהצלחה את מרכיבי המערכת השונים בתוך המערכת, יש צורך ביכולת גבוהה של חשיבה מערכתית. ההיבט העיקרי של יכולת זו היא היכולת לראות ולהבין את התמונה הכוללת מבלי צורך להבין מראש את כל הפרטים. לגישה מערכתית זו יש חשיבות רבה בסביבת פרויקטים מורכבת (Kerzner, 2006).

Frank (2007) התייחס במחקריו לחשיבה מערכתית בקרב מהנדסים והגדיר את המושג "יכולת חשיבה מערכתית-הנדסית" (CEST - Capacity for Engineering Systems Thinking) המשלבת ידע, מיומנויות מקצועיות ומרכיבים התנהגותיים. על פי Frank & Waks (2001) יכולת חשיבה מערכתית-הנדסית היא:

1. היכולת לראות את התמונה השלמה - היכולת לתפוס ולהבין את המערכת כולה בהיבט הקונספטואלי והתפקודי שלה, מבלי להבין את פרטי המערכת. יכולת זו כוללת גם סינרגיה של המערכת ממרכיביה השונים וכן יכולת לראות את כל ההשלכות של שינויים במערכת ויכולת להציע פתרונות לכשלים מערכתיים.
2. היכולת ליישם שיקולים ניהוליים - היכולת להבין וליישם שיקולים ניהוליים הכוללים תפיסה רחבת היקף.
3. היכולת לרכוש ולהשתמש בידע אינטרדיסציפלינרי - היכולת להתמודד עם מגוון משימות ולהשתמש בידע אינטרדיסציפלינרי לפיתוח תפיסת התפעול, לניתוח פונקציונלי וארכיטקטוני, להשוואה בין מערכות, ליישום אילוצי תכנון המערכת, להרצת סימולציות ולפתרון בעיות אופטימיזציה.
4. היכולת לנתח צרכים ודרישות - היכולת להבין ולנתח את צרכי הלקוח, דרישות השוק והתפתחויות טכנולוגיות עתידיות.
5. להיות "חושב מערכתי" (A system thinker) - היכולת להיות סקרן, מחדש, יוזם ולומד עצמאי והיכולת להתפתח ולשאול שאלות רלוונטיות.

מהנדסים בעלי יכולת גבוהה של חשיבה מערכתית-הנדסית המעורבים בפיתוח פרויקטים מסוגלים:

1. לנתח את צרכי ודרישות הלקוחות.
2. לפתח את תפיסת התפעול.
3. להמשיג את הפתרון.
4. ליצור את הפתרון הלוגי ואת הפתרון הפיזי (ניתוח פונקציונלי וארכיטקטוני).
5. להשתמש בסימולציות וניתוחי אופטימיזציה.
6. ליישם שיקולי תכנון מערכת ולבצע מחקרי שוק שבהם יש לנתח מספר פתרונות אלטרנטיביים (Frank, 2002; Davids, 2005).

חשיבה מערכתית מספקת שיטה לתיאור, ניתוח ותכנון מערכות מסובכות מסוגים שונים

(Holmberg, 2000). חוקרים רבים מתייחסים לצורך לראות את התמונה כולה בתהליך של פתרון בעיה. למשל, פירוק הבעיה לגורמים ומציאת פתרונות נפרדים לכל אלמנט מביאים לפתרון אפקטיבי רק לעיתים נדירות (Senge, 1994).

בקרב החוקרים קיימת הסכמה לגבי חשיבותה של החשיבה המערכתית ככלי להעצמת ביצועי הארגון. למרות זאת, השימוש בה אינו מפותח דיו ברוב הארגונים (Holmberg, 2000). גם במערכת החינוך, הן בבתי הספר

התיכונים והן במסגרות אקדמיות לא נעשה די בבדיקת התהליכים בהם נרכשת יכולת זו במהלך הלמידה ובשילוב כלים שעשויים לסייע בפיתוחה ובהערכתה של חשיבה מערכתית.

5.3 הקטגוריות המרכיבות חשיבה מערכתית-הנדסית

בהתאם לחלוקה של Frank (2007) לפיה חשיבה מערכתית-הנדסית כוללת ארבעה היבטים שונים: ידע (Knowledge), תכונות אישיות (Individual Traits), מאפיינים קוגניטיביים (Cognitive Characteristics) ויכולות (Capabilities). המרכיבים של היבטי חשיבה מערכתית – הנדסית שנמצאו בקרב סטודנטים ותלמידי תיכון שהתנסו בפרויקט גמר מעשי מובאים בטבלה 1 (Koral-Kordova & Frank, 2016;2018):

טבלה 1: המרכיבים התאורטיים והיישומיים של היבטי חשיבה מערכתית-הנדסית

היבט	המרכיבים התאורטיים של היבט	דוגמאות למרכיבים יישומיים של היבט
ידע	ידע אינטר-דיסציפלינרי ומולטי-דיסציפלינרי	ידע בהיבטים טכנולוגיים/הנדסיים של הפרויקט, ידע רב תחומי, ידע בניהול פרויקטים, ניהול עלויות, מודלים לניהול, ניתוח מערכות ארגוניות.
	עיסוק בתפקידים מערכתיים	
	חינוך והשכלה לחשיבה מערכתית	
תכונות אישיות	כישורי ניהול	העדפה לעיסוק עתידי בניהול המשלב תחומי הנדסה שונים, רצון להשתלב בעתיד במסלול ניהולי כמנהל פרויקט או מנהל תחום.
	הנהגה קבוצתית	רצון והעדפה להובלת צוות לביצוע משימה, נכונות לעבוד בצוות תוך מעורבות בעבודת בן הזוג לפרויקט.
	יחסי אנוש טובים, תקשורת טובה, מיומנות תקשורתית	העדפה להיות חלק מצוות העוסק בביצוע פרויקט קבוצתי ולא יחידני.
	מיומנות למידה עצמית	
	רצון לעסוק במערכתיות	העדפה אישית להתמקד גם בנושאים שאינם נושאי הליבה של המקצוע.
	ראיית כשלים וטעויות כאתגרים, סובלנות לקשיים	
	בטחון עצמי ומוטיבציה אישית	נטייה להשתתף בדיונים כיתתיים, נכונות לעמידה בלוחות הזמנים הדרוש לסיום הפרויקט.

ההיבט	המרכיבים התיאורטיים של ההיבט	דוגמאות למרכיבים יישומיים של ההיבט
מאפיינים קוגניטיביים	הבנת המערכת כמכלול, ראיית התמונה השלמה	עבודה על פרויקט הגמר המשלב בתוכו מספר מקצועות לימוד.
	חשיבה יצירתית	
	הבנת המערכת ללא הכרת כל פרטיה, סובלנות למצבי אי ודאות	בדיקת ההשלכות האפשריות של שינויים במערך הארגוני.
	הבנה הסינרגיה בין מערכות שונות	עיסוק בשילובים ואינטגרציות בין מערכות/מוצרים/תהליכים בפרויקט הגמר.
	סקרנות, חידוש, מקוריות, המצאה	
	שאלת שאלות טובות	
	הצבת גבולות	
	התחשבות בגורמים שאינם הנדסיים כגון: כלכליים, עסקיים	התייחסות להיבטים הכלכליים, עסקיים, ניהוליים, פוליטיים וארגוניים של הפרויקט מעבר לתחומים ההנדסיים.
יכולות	יכולת לערוך ניתוח דרישות	היכולת להבין ולנתח את הצרכים, הדרישות והעדיפויות של הלקוח.
	חשיבה אבסטרקטית ויכולת לפתח את הפתרון	היכולת למצוא פתרון לבעיה ע"י "עקיפת הבעיה".
	ניתוח פונקציונלי	
	"ראיית העתיד", חזון עתידי	
	שימוש בסימולציות וכלים הנדסיים	
	אופטימיזציה	היכולת להפעיל שיקולי עלות-תועלת.
	פתירת כשלים ובעיות מערכתיות	
	יכולת לספק מספר פתרונות לבעיה	

Koral-Kordova & Frank (2016) פיתחו מודל סטטיסטי המציג את המרכיבים התיאורטיים והיישומיים של היבטי חשיבה מערכתית-הנדסית המופיעים בטבלה 1, את הקשרים בין מרכיבים אלה וכיוונם. פיתוח המודל נעשה בשני שלבים: Confirmatory Factor Analysis ו-Exploratory Factor Analysis.

רשימה נוספת של כישורי חשיבה מערכתית ניתנה ע"י (Arnold & Wade, 2017). ברשימתם 14 כישורים המחולקים לארבע קטגוריות באופן הבא:

1. Mindset – How to approach systemic problems – אופן החשיבה – איך לגשת לבעיות

מערכתיות

- 1.1 Explore Multiple Perspectives – לחקור נקודות מבט מרובות.
- 1.2 Consider the Wholes and Parts – לבחון את השלם והחלקים.
- 1.3 Effectively Respond to Uncertainty and Ambiguity - להגיב ביעילות לאי ודאות ולעמימות.
- 1.4 Consider Issues Appropriately – להגיב תוך התייחסות למלוא מורכבות הבעיה.
- 1.5 Use Mental Modeling and Abstraction - להשתמש במודלים מנטאליים והפשטה.

2. Content – What is in the system – תוכן – מה יש במערכת

- 2.1 Recognize Systems – לזהות מערכות.
- 2.2 Maintain Boundaries – לשמור על הגבולות של המערכת.
- 2.3 Differentiate and Quantify Elements – להבדיל ולכמת אלמנטים.

3. Structure – How the content is organized – מבנה - איך התוכן מאורגן

- 3.1 Identify Relationships – לזהות יחסי גומלין.
- 3.2 Characterize Relationships – לאפיין יחסי גומלין.
- 3.3 Identify Feedback Loops – לזהות לולאות משוב.
- 3.4 Characterize Feedback Loops – לאפיין לולאות משוב.

4. Behavior – Results of the interactions of content and structure – התנהגות – תוצאות של

אינטראקציות של תוכן ומבנה

- 4.1 Describe Past System Behavior – לתאר את התנהגות המערכת בעבר.
- 4.2 Predict Future System Behavior – לחזות את התנהגות המערכת בעתיד.
- 4.3 Respond to Changes over Time – להגיב לשינויים לאורך זמן.
- 4.4 Use Leverage Points to Produce Effects – להשתמש בנקודות מינוף ליצירת תוצאה מערכתית.

המחברים ממשיכים ובונים סולם לכל אחת מכשיריות אלו. לדוגמה, בטבלה 2 מובא סולם רמות ידע לכשירות 2.2 (שמירה על הגבולות של המערכת).

טבלה 2: כשירות 2.2 לפי Arnold & Wade - שמירה על הגבולות של המערכת

רמה 4	רמה 3	רמה 2	רמה 1	רמה 0
יכול להחזיק את גבולות המערכת ולבטא נכונה את השינויים לאורך זמן והקשר ברמה גבוהה של דיוק כמותי	יכול להחזיק את גבולות המערכת לאורך זמן	יכול להחזיק את גבולות המערכת שלאורך זמן והקשר מכילה את רוב האלמנטים הרלוונטיים ומצמצמת למינימום את האלמנטים החיצוניים	יכול ליצור תמונה מנטאלית ראשונית של המערכת הכוללת מספר אלמנטים רלוונטיים. תמונה זו עשויה לכלול אלמנטים חיצוניים או להיות ללא אלמנטי מפתח	לא יכול להגדיר את גבולות המערכת

סולם נוסף של כשירויות חשיבה מערכתית הוצע ע"י מרכז ווטרס לחשיבה מערכתית ומכונה על ידם "הרגלים של חושב מערכתי" – Habits of Systems Thinker. פירוט של "הרגלים" אלו ניתן בטבלה 3.

טבלה 3: "הרגלים" של חושב מערכתי (Waters Center)

Habits of Systems Thinker	הרגלים של חושב מערכתי
1. Makes meaningful connections within and between systems	1. יוצר קשרים משמעותיים בתוך ובין מערכות
2. Seeks to understand the big picture	2. מבקש להבין את התמונה הגדולה
3. Changes perspectives to increase understanding	3. משנה נקודות מבט כדי להגביר את ההבנה
4. Considers how mental models affect current reality (understanding) and the future	4. שוקל כיצד מודלים מנטליים משפיעים על (הבנת) המציאות הנוכחית ועל העתיד
5. Observes how elements within systems change over time, generating patterns and trends	5. מזהה כיצד אלמנטים בתוך מערכות משתנים לאורך זמן, ומייצרים דפוסים ומגמות
6. Surfaces and tests assumptions	6. מציף ובודק הנחות
7. Recognizes that a system's structure generates its behavior	7. מכיר בכך שמבנה המערכת יוצר את ההתנהגות שלה
8. Identifies the circular nature of complex cause and effect relationships	8. מזהה את הטבע המעגלי של יחסי סיבה ותוצאה מורכבים
9. Recognizes the impact of time delays when exploring cause and effect relationships	9. מזהה את ההשפעה של עיכובים בזמן בחינת קשרי סיבה ותוצאה
10. Considers short-term, long-term and unintended consequences of actions	10. מביא בחשבון תוצאות קצרות טווח, ארוכות טווח ולא מכוונות של פעולות
11. Considers an issue fully and resists the urge to come to a quick conclusion	11. בוחן נושא במלואו ומתנגד לדחף להגיע למסקנה מהירה
	12. שם לב לצברים ולקצבי השינוי שלהם
	13. משתמש בהבנה של מבנה המערכת כדי לזהות פעולות מינוף אפשריות

Habits of Systems Thinker	הרגלים של חושב מערכתי
12. Pays attention to accumulations and their rates of change 13. Uses understanding of system structure to identify possible leverage actions 14. Checks results and changes actions if needed: "successive approximation"	14. בודק תוצאות ומשנה פעולות במידת הצורך: "קירוב עוקב"

5.4 הערכת כישורי חשיבה מערכתית

בספרות קיימים מספר כלים להערכת כישורי חשיבה מערכתית שמרביתם מבוססים על שאלונים שבהם הנבדק מעיד על כישורי החשיבה המערכתית לפי תפיסתו. על מנת לאפשר זיהוי חשיבה מערכתית באופן לא מוטה פותחו מספר כלים. אחד הכלים לבדיקת הנטייה לחשיבה מערכתית הנדסית נקרא "שאלון נטיות לתפקידים הנדסיים הדורשים יכולת חשיבה מערכתית" שפותח על ידי Frank (2007). על פי אנסטאזי (1990) מהותם ועוצמתם של הנטיות מייצגים היבט חשוב באישיותו של הפרט. מאפיינים אלה עשויים להשפיע על הישגיו בלימודים ובמקצוע ועל היבטים חשובים נוספים. הדחיפה העיקרית לחקר הנטיות באה מתחום הייעוץ החינוכי והייעוץ בבחירת מקצוע, ופיתוחם של מבחנים בתחום זה נבע גם מן הצורך לברור ולמיין כוח אדם למקצועות. לנטיות של הפרט יש חשיבות מעשית מנקודת הראות של העובד והמעביד גם יחד. רוב שאלוני הנטיות נועדו להעריך את הנטיות של הפרט בתחומי עבודה שונים. אחדים מהם גם מנתחים את הנטיות בקשר לתוכנית הלימודים או למקצועות הלימוד, המתקשרים בדרך כלל להחלטות על בחירת מקצוע. מאז שנות השישים הולך וגובר קצב הפיתוח של מכשירים חדשים בתחום המדידה של נטיות. התפתחות זו משקפת בחלקה את העניין הגובר בחקר אפשרויות הקריירה ואת ההכרה שהנטיות ממלאות תפקיד מרכזי בבדיקה מסוג זה. הנטייה לחשיבה מערכתית היא דוגמה מובהקת לכך כאשר מטרתו של "שאלון נטיות לתפקידים הנדסיים הדורשים יכולת חשיבה מערכתית" היא להעריך את הנטיות של הנבדקים לתפקידים הדורשים יכולת חשיבה מערכתית. כלי כזה יכול לשמש לצורך מיון וקידום עובדים, מיון מועמדים לעבודה, אבחון, מחקר והערכת תוכניות לימודים.

בפיתוח כלי להערכת הנטיות לתפקידים הדורשים יכולת חשיבה מערכתית אנו מניחים שתי הנחות מרכזיות:

1. יכולת החשיבה המערכתית מבחינה בין אנשים. כלומר יכולת זו מאפיינת את הפרט וניתנת להערכה ולניבוי.
2. מידת הנטייה לתפקידים/עיסוקים הדורשים חשיבה מערכתית, כפי שהיא נמדדת בעזרת שאלון נטיות לתפקידים/עיסוקים כאלה, הינה אינדיקציה ליכולת חשיבה מערכתית.

השאלון המקורי שפותח על ידי Frank (2007) ונועד למהנדסים עבר מספר שינויים על מנת להתאימו להערכת הנטייה של סטודנטים ותלמידים לתפקידים הדורשים יכולת חשיבה מערכתית-הנדסית, כפי שזו באה לידי ביטוי במהלך עבודתם על פרויקט הגמר (Frank & Kordova, 2009). שאלון זה הורכב מ-31 צמדים של משפטים. לגבי כל צמד התלמיד/הסטודנט התבקש לסמן:

1. באם משפט א' מתאים לו יותר.

2. באם משפט ב' מתאים לו יותר.

לדוגמה (צפוי שתלמיד/סטודנט בעל נטייה לחשיבה מערכתית - הנדסית יבחר בדוגמה זו במשפט א'):

1. כאשר אני מציע פתרון לשיפור המצב הקיים בפרויקט, אני מודע לשיקולים לא הנדסיים כגון שיקולים עסקיים וכלכליים.

2. כאשר אני מציע פתרון לשיפור המצב הקיים בפרויקט, אני מתמקד בשיקולים תפעוליים והנדסיים בלבד.

התלמידים/הסטודנטים הונחו לבחור את המשפט המתאים להם יותר מבחינת העדפותיהם האישיות כאשר אין להיגדים אלה בחירות נכונות. על מנת להקטין את ההטיה לפיה חלק מהנבדקים נוטים לסמן באופן אוטומטי כיוון מסוים מטעמים של שעמום, עייפות או חוסר מוטיבציה, מבלי לקרוא את תוכן הפריט, השאלון נבנה כך שבחלק מהפריטים משפט א' מייצג את הנטייה לחשיבה מערכתית - הנדסית ובחלק מהפריטים דווקא משפט ב' מייצג נטייה זו.

השימוש בשאלון זה, כמו גם בשאלונים דומים נועד לבחון האם חל שינוי בנטייה לחשיבה מערכתית בעקבות התערבות כלשהי כגון קורס ייעודי בחשיבה מערכתית, התנסות בפרויקט מערכתי, הדרכה בארגון הממוקדת בהקניית עקרונות חשיבה מערכתית וכו', והשוואה בין תוצאות המענה לשאלון כשאלון Pre- לפני תחילת ההתערבות ובין תוצאות המענה לשאלון כשאלון Post- בתום תהליך ההתערבות.

כלי נוסף להערכת חשיבה מערכתית הינו **טופס הבדוק את קיומם של מאפייני חשיבה מערכתית הנדסית בפרויקט הנדסי** (Koral Kordova, Frank & Nissel, 2018). הטופס נועד להעריך באיזו מידה באה לידי ביטוי חשיבה מערכתית בעת ביצוע פרויקט הנדסי.

הטופס מורכב מ-23 היגדים הכוללים את הקטגוריות הבאות: מאפיינים קוגניטיביים, יכולות, מאפיינים אישיים וידע. כל היגד הוערך באמצעות סקלה 1-5 של סולם ליקרט כאשר 1 מצוין "במידה מועטה מאוד" ו-5 מצוין "במידה רבה מאוד". ציון גבוה במילוי הטופס מעיד על נטייה רבה לתפקידים הנדסיים הדורשים יכולת חשיבה מערכתית - הנדסית.

דוגמא לשאלות מתוך השאלון:

לגבי כל אחד מההיגדים הבאים, אנא ציין/י עד כמה אתה מסכים אתו.

כאשר נתקלים בבעיה, תחילה צריך להבין את ההקשר שבו היא נוצרה.

1 - במידה מועטה מאוד	2 - במידה מועטה	3 - במידה בינונית	4 - במידה רבה	5 - במידה רבה מאוד
----------------------	-----------------	-------------------	---------------	--------------------

כאשר בוחנים תהליך שיפור יש לבדוק כיצד השיפורים ישפיעו על תהליכים אחרים נוספים.

1 - במידה מועטה מאוד	2 - במידה מועטה	3 - במידה בינונית	4 - במידה רבה	5 - במידה רבה מאוד
----------------------	-----------------	-------------------	---------------	--------------------

להלן פירוט הנושאים שהופיעו בהיגדים לפי החלוקה לקטגוריות השונות:

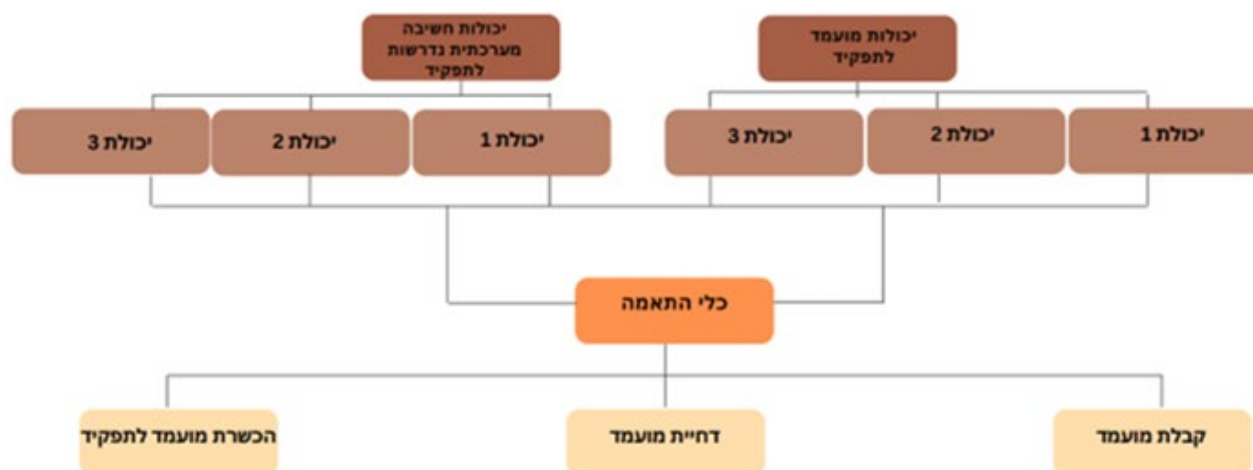
1. **מאפיינים קוגניטיביים:** הצגת תמונה שלמה של הפרויקט, יצירתיות, מקוריות וחדשנות, התייחסות להשלכות השינוי/השיפור על הארגון, התייחסות לאינטראקציה בין המערכות השונות בארגון, הבנת הסינרגיה בין מערכות הארגון, התייחסות לגורמים נוספים מעבר לגורמים הנדסיים כגון: גורמים כלכליים/ עסקיים/ משפטיים/ פוליטיים.
2. **יכולות:** ניתוח צרכי הארגון, יישום כלים מערכתיים לשיפור הארגון, הצגת הפתרון האופטימלי, ניתוח בעיות מערכתיות בארגון, הצגת מספר חלופות לפתרון הבעיה המוצגת בפרויקט.
3. **מאפיינים אישיים:** הובלת הצוות, בניית תוכנית עבודה לפרויקט, יחסים בינאישיים טובים עם הצוות ועם מנחי הפרויקט, יכולת למידה עצמית, נכונות להתמודד עם המשימה.
4. **ידע:** הפגנת ידע אינטרדיסציפלינרי ורב תחומי בפרויקט הגמר.

5.5 כלים להערכת רמת חשיבה מערכתית

בספרות קיימים מספר כלים לבחינת מיומנויות חשיבה מערכתית. במחקרם של Miller, Kordova, Grinshpoun, & Shoval (2022; 2023), Miller-Nissel (2023) פותחו שני כלים חדשים. הכלי הראשון הוא השאלון המילולי (Koral Kordova, Frank & Nissel, 2018) שחולק באמצעות ניתוח גורמים ל-5 מאפיינים של חשיבה מערכתית. הכלי השני הוא מבחן מבוסס תמונות ככלי להערכת חשיבה מערכתית. מבחנים מבוססי ציורים משמשים להערכות פסיכולוגיות, ובמחקר נבחנה התאמתם לזיהוי אנשים בעלי מיומנויות גבוהות של חשיבה מערכתית.

כלי 1: שאלון מילולי

על מנת להצליח לבחון מיומנויות חשיבה מערכתית של מועמד לביצוע עבודה מסוימת מול הדרישות השונות של התפקיד הנדון, נדרש כלי שיבחן את מידת ההתאמה. תוצאות התהליך תהינה קבלת המועמד או דחייה שלו או הכשרת המועמד לתפקיד הנדרש. איור 2 מציג את תהליך ההתאמה הנדרש.

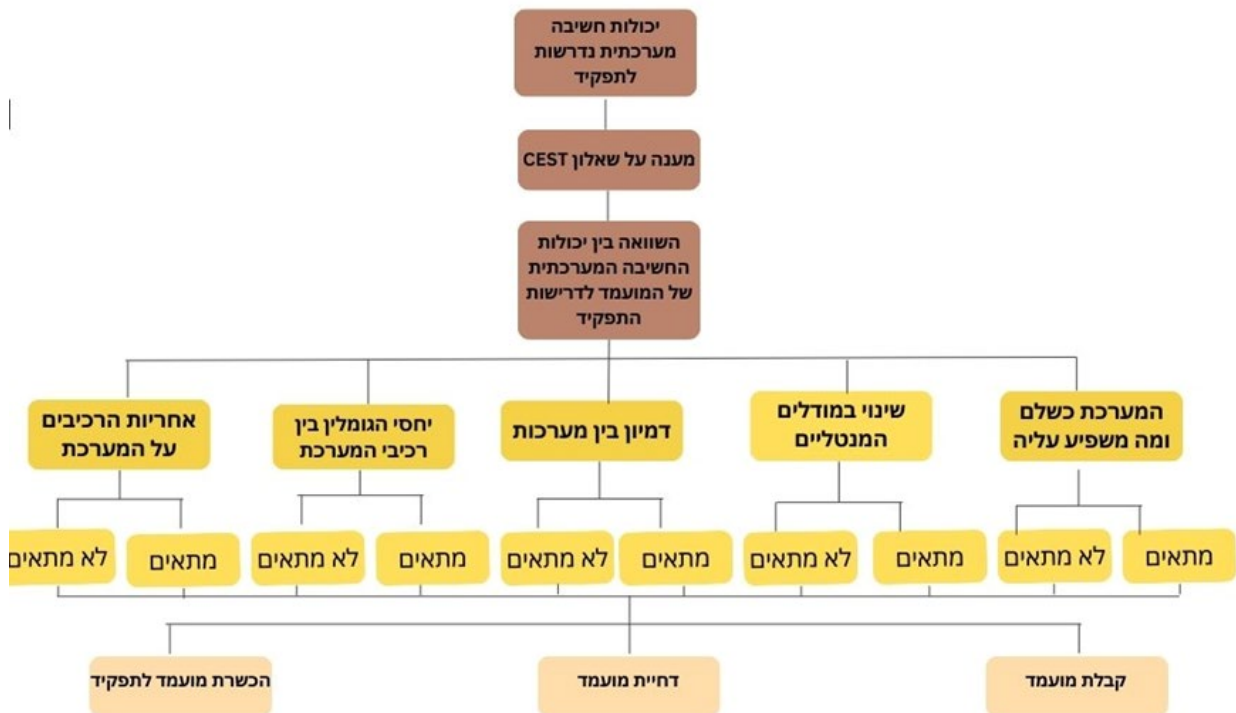


איור 2: תהליך התאמת יכולות החשיבה של המועמד לתפקיד הדורש חשיבה מערכתית

להלן מאפייני חשיבה מערכתית שנמצאו עבור כל גורם בשאלון המילולי:

1. **גורם 1:** כל רכיב במערכת הוא חלק מהמערכת ויש לו אחריות על תפקודה (Frank, 2002)
2. **גורם 2:** חשיבה מערכתית כרוכה בהבנת יחסי הגומלין בין מרכיבי המערכת (Lamb & Rhodes, 2007)
3. **גורם 3:** למערכות שונות יש מאפייני מערכות דומים (Von Bertalanffy, 1973)
4. **גורם 4:** חשיבה מערכתית כרוכה בשינוי המודלים המנטליים הקשורים למערכת ולשותפיה (Senge, 1994)
5. **גורם 5:** כדי לפתור בעיות באמצעות חשיבה מערכתית, יש לראות את המערכת כמכלול ולדעת לבחון את השיקולים השונים השולטים בה (Frank, 2002)

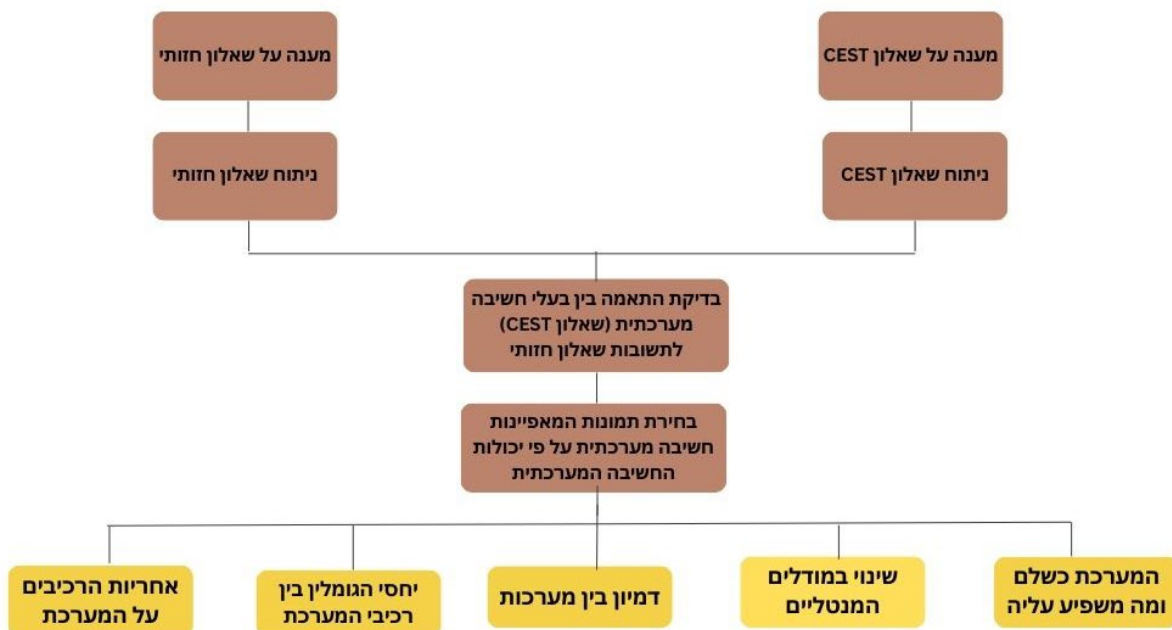
קיבוץ היגדי השאלון לגורמים המתייחסים למאפייני חשיבה מערכתית מאפשר לזהות כישורי חשיבה מערכתית באופן כללי ולפי מאפיינים ספציפיים. ניתן להיעזר בכלי זה כדי לוודא אם למועמד יש את כישורי החשיבה המערכתית הנדרשים, כפי שמוצג באיור 3. ניתוח התשובות של המשתתפים יאפשר לזהות מאפייני חשיבה מערכתית אצל מועמדים לעבודה. התוצאות יציינו אילו מועמדים מתאימים לתפקידים הדורשים היבטים מסוימים של חשיבה מערכתית והאם הם נדרשים ללמוד חלק מההיבטים הללו. במחקר של Miller, Kordova, Grinshpoun, & Shoval (2023), נמצא כי תחומים שונים דורשים מאפיינים שונים של חשיבה מערכתית. ניתן להיעזר בכלי כדי להתאים מועמד לתפקיד מסוים בתחום מסוים ולהתמקד בדרישות הספציפיות של אותו התחום.



איור 3: מודל להתאמת יכולות החשיבה המערכתיות של מועמד לעבודה לתפקיד הדורש חשיבה מערכתית

כלי 2: שאלון תמונות

במחקרה של Miller-Nissel (2023) פותח שאלון חזותי חדש להערכת מיומנויות חשיבה מערכתית. השאלון החזותי כלל 41 תמונות המייצגות מיומנויות שונות של חשיבה מערכתית. הנבדקים ציינו במשפט מה הם רואים בכל תמונה וכן ענו על השאלון המילולי שבוחן את חשיבתם המערכתית (CEST). נבחנה מידת ההתאמה בין תוצאות המענה על השאלון החזותי והמענה על השאלון המילולי לצורך בחירת התמונות המאפיינות מיומנויות של חשיבה מערכתית. איור 4 מציג את התהליך.



איור 4: תהליך יצירת שאלון לזיהוי חשיבה מערכתית באמצעות תמונות

במחקר נמצא כי התמונות שנבחרו משקפות את היכולות הבאות של חשיבה מערכתית: השפעת הרכיבים על המערכת וההבנה של מערכות שונות יש מאפיינים דומים (דמיון בין מערכות).

על מנת לזהות מאפיינים נוספים של חשיבה מערכתית יש להרחיב את השאלון החזותי כך שיכיל מגוון רחב יותר של תמונות שישקפו את היכולות הנוספות של חשיבה מערכתית.

6. הקניית כישורי חשיבה מערכתית

הקניית כישורי חשיבה מערכתית יכולה להיעשות על ידי קורס ייעודי שמטרתו לפתח חשיבה מערכתית בקרב משתתפיו ולהעניק להם כלים מעשיים שיסייעו בידם ליישם יכולת זו הלכה למעשה. דרך נוספת להקנות חשיבה מערכתית היא באמצעות השתתפות בפרויקט מערכתי במסגרת מקצועית או אקדמית. אחת הדוגמאות לכך היא התנסות בפרויקט גמר בקרב תלמידים וסטודנטים להנדסת תעשייה וניהול. פרויקטים אלה דורשים הסתכלות מערכתית והכרת הקשרים ההדדיים בין מרכיבי המערכת הנחקרת יותר מאשר צילום מצב סטטי-נקודתי.

התנסות בפרויקטים אלה הביאה לשיפור בכישורי חשיבה מערכתית בקרב התלמידים והסטודנטים להנדסת תעשייה וניהול (Koral-Kordova & Frank, 2016). הקניית כישורי חשיבה מערכתית באה לידי ביטוי בהתנסות מעשית בפרויקטי הגמר בהיבטים הבאים:

1. תפיסת והבנת המערכת כולה מבלי להבין את פרטיה.

2. ניתוח ההיבטים השיווקיים, האפשרויות העומדות בפני הארגון, צרכי השוק, ההזדמנויות העסקיות, מגמות וכיוונים חדשים וכלל ההיבטים שעשויים לקדם את הארגון ולשפר את ביצועיו.
3. שימוש בידע אינטרדיסציפלינרי.
4. חשיפה להיבטים כלכליים, ניהוליים, כח אדם, היבטים משפטיים, שיווקיים, יצרניים, תפעוליים ועוד.
5. שאילת השאלות הנכונות.
6. שימוש במגוון כלים כגון כלים סטטיסטיים, הנדסיים, כלכליים ותפעוליים.
7. התמודדות עם בעיה אמיתית, בחינת היבטיה השונים והסתכלות עליה בראיה גלובלית-רוחבית.
8. ביצוע אינטגרציה בכמה תחומים כגון הערכה כמותית של עלות מול תועלת, חקר תהליכים ארגוניים, ניתוח פונקציונלי, מחקר שווקים ועוד.

בעת ביצוע פרויקט גמר לימודי הקניית כישורי חשיבה מערכתית נעשית באופן הבא:

1. בניתוח ובחינת הארגון, הכרת הארגון ולימוד הבעיה. הלומד נחשף לארגון שלם ולתהליכים חוצי ארגון.
2. באיתור בעיות בארגון, באבחון הבעיות, זיהוי ממשקים וקשרים פנים ארגוניים מערכתיים.
3. בפתרון של בעיה תפעולית הנדסית הכרוך בנגזרות רב תחומיות. חשיפה להיבטים ניהוליים, ארגוניים, כלכליים, משפטיים, יחסי ספק-לקוח ועוד.
4. בהצגת פתרון רב מחלקתי.

עיון פעילויות הלמידה על ערכים קונסטרוקטיביסטיים של שיתופיות, למידה פעילה, אחריות אישית, הבניית הידע ונקיטת עמדה תוך התייחסות למספר היבטים ולהשלכותיהם יסיעו להקנות כישורי חשיבה מערכתית בקרב הלומדים. יתרה מכך, הרחבת סביבת למידה מבוססת פרויקטים ובניית קבוצות למידה פרויקטליות שבהן יעסקו בעיות אינטרדיסציפלינריות, מולטי דיסציפלינריות וטרנס דיסציפלינריות, עשויות לשפר את הנטייה לחשיבה מערכתית של המשתתפים.

המעבר מייצוג ידע במודל לינארי-היררכי, לייצוג ידע דינמי, מקנים ללומד עקרונות של חשיבה מערכתית ומאפשרים לו ליישם דפוסי חשיבה חדשים, החושפים בפניו תהליכים מורכבים, קשרים בין פעולות ובין מערכות.

למידה מערכתית לפי סנג'י (2004) מתמקדת בעיצוב מחדש ומתמיד של הארגון באמצעות פיתוח מיומנויות הלמידה של הפרט והצוות. הלמידה מתרחשת דרך פיתוח מיומנויות ספציפיות לצורך גילוי והבנה של יחסי הגומלין בין מרכיבים ארגוניים ותהליכים ארגוניים שונים המשפיעים על הלמידה והשימוש בהם. באופן דומה, גם תוכנית הלימודים צריכה לכלול בתוכה למידה מערכתית המאפשרת לסטודנט לראות תמונה רחבה וכוללת (Koral-Kordova & Frank, 2016).

7. דוגמה #1 ליישום תוכניות הכשרה לחשיבה מערכתית

7.1 חשיבה מערכתית למהנדסי תעשייה וניהול

תוכנית הלימודים הבאה היא דוגמה לפיתוח קורס לחשיבה מערכתית כחלק מתוכנית הלימודים בהנדסת תעשייה וניהול. המטרה בהצגת התוכנית היא להציע אותה כבסיס לעיון ועדכון בהתאם לצרכים ולדגשים של מוסד אקדמי שיהיה מעוניין בפיתוח תוכנית כזו.

7.2 על הקורס

הקורס מציע שיטות וכלים לניהול תהליכי הפיתוח ושדרוג של מערכות משולבות ורב-תחומיות כחלק מראיה רחבה של האתגר וההקשר הארגוני/העסקי/הכלכלי/החברתי. הקורס נבנה על בסיס הידע הנלמד בקורסים לאורך מסלול הלימודים בפקולטה (מערכות מידע, קבלת החלטות, ארגון וניהול, הנדסת תעשייה) ומדגיש את היישום הנדרש של העקרונות התיאורטיים במסלול הנדסת תעשייה ויישומם בפרויקט אמיתי בתעשייה.

מטרת הקורס היא לתת ללומדים כלים לאפיון מערכות ותהליכים בעולמות התעשייה והניהול, הטכנולוגיה וההנדסה על בסיס ניתוח ההיבטים הרבים של הערך או התועלת הרצויים ממערכת, תהליך או שירות בסביבה רב-תחומית. בקורס ניתנות שיטות להתמודדות עם בעיות מורכבות, לניתוח מצבים, יחסי גומלין והתנהגות לאורך זמן, לקבלת החלטות בסביבה של אי וודאות, ולגיבוש נקודות השפעה ברמות שונות על המערכת, הסביבה ובעלי העניין. הקורס עוסק באופן ממוקד בתחומי העיסוק העתידיים של בוגר מסלול הנדסת תעשייה בעולמות הניהול הטכנולוגי מבוסס נתונים וקבלת החלטות טכניות וניהוליות בארגוני תעשייה, בארגונים ציבוריים ומיזמי היי-טק.

7.3 חשיבה מערכתית יישומית

חשיבה מערכתית היא מיומנות יסוד של מהנדסים ומדענים העוסקים במערכות מורכבות ורב-תחומיות. זהו הבסיס להגדרת דרישות הנדסיות וטכנולוגיות, בניה ובקרה על תהליך הפיתוח, ההטמעה והאחזקה ולתיקוף המערכת בסביבתה המיועדת. זהו גם היסוד לאופטימיזציה של הפתרונות מול כלל הדרישות והאילוצים.

בסיום הקורס הלומדים יוכלו לזהות, לנתח ולאפיין את הערך הנדרש או המצופה מהתהליך או המערכת הטכנולוגית וההנדסית ותוך יחסי הגומלין עם בעלי העניין. יינתנו כלים לניתוח סטטי ודינמי של המערכת תוך דוגמאות ממגוון תחומים ומערכות. הלומדים יקבלו הבנה רחבה של התאמת המערכת והתהליכים למילוי הערך הנדרש.

הקורס מיועד להקנות ללומדים יכולות בתחומים הבאים:

- לנהל במקצועיות את כל היבטי תהליך הפיתוח של מוצר, שירות או תהליך בסביבה מגוונת (חברת סטארט-אפ, מיזם צעיר או כחלק ממשימה חדשה בארגון גדול).
- לאסוף ולנתח את צרכי הלקוחות ובעלי העניין, לאפיין את הדרישות מהמערכת, לגבש ולתעדף חלופות, לייצר קונספטים מערכתיים, ולנתח את המערכת בראיית כלל ההיבטים ההנדסיים והתפעוליים ולאורך כל מחזור חייה.
- להפעיל מגוון רחב של כלים לגיבוש והערכה של התכן המערכתי (כולל מודלי QFD, SysML, טבלת PUGH ועוד).
- לחשוב בצורה מערכתית בעולמות הניהול, החדשנות והיזמות.
- לנהל את תהליכי הפיתוח והתכן בפרויקטים.
- לבחון, להעריך ולבקר את איכות תוצרי העבודה של מהנדסי המערכות בפרויקט.

7.4 סילבוס

הקורס כולל שתי יחידות תוכן מרכזיות:

1. היחידה הראשונה עוסקת בחשיבה מערכתית, בדגש על הבנה ומסגור של הבעיה המערכתית, ניתוח הבעיה והפעלת מנופי שינוי ותכן מערכתי ואפיון הפתרון.
 2. היחידה השנייה עוסקת ביישומים של החשיבה המערכתית לתהליכים ארגוניים ותעשייתיים משולבים הכוללים אנשים, אמצעים, טכנולוגיה ומידע, שיווק ועוד.
- בנוסף ליחידות תוכן אלו ניתנים שני מודולים נוספים החשובים לעולמות התעשייה והניהול:
1. חשיבה מערכתית מבוססת מודלים (מפגש 5) – עוסק בכלים ומודלים מגוונים לניתוח בעיה ותקשורת בין בעלי העניין.
 2. מודלים לכישורי חשיבה מערכתית (מפגש 12) – כולל סיכום של הכשירויות המרכזיות הנדרשות לחשיבה מערכתית כסיכום הנלמד בקורס וכמסגרת המאפשרת עידוד עתידי של חשיבה מערכתית על ידי הלומדים במסגרת עיסוקיהם בתעשייה.

7.5 אסטרטגיית הלמידה והגישה הפדגוגית – פרויקט הקורס

הקורס פותח מתוך גישה של למידה פעילה. מרכיב מרכזי בקורס הוא פרויקט ניתוח, תכן ואפיון מערכתי. במהלך הקורס הלומדים יבצעו ניתוח מובנה של בעיה מורכבת, יגבשו פתרונות אפשריים, יבצעו תהליך סדור של בחירה בין חלופות ויגבשו אפיון מערכתי מלא ומקיף לחלופה הנבחרת. תוצר הפרויקט יוכל לשמש כבסיס לפיתוח ומימוש התהליך, המערכת הטכנולוגית או מכלולים מתוכם כחלק מפרויקט המשך.

נושאי הפרויקט מותאמים לאתגרים העומדים בפני בוגרי המסלול להנדסת תעשייה פקולטה למדעי הנתונים וקבלת החלטות. מיקוד הפרויקט יכול להיות בנושאי שילוב טכנולוגיה מתקדמת (כגון AI, סייבר או IoT) במיזם או מערכת שתענה על צורך ארגוני או תפוח מול הזדמנות כלכלית. פרויקט יוכל להיות גם ניתוח, תכן ואפיון

של תהליכי ייצור או שירות, כולל שילוב היבטי טכנולוגיה, אופטימיזציה וחקר ביצועים, היבטי אנוש ומרכיבי שיווק והתנהגות צרכנית.

הפרויקט יבוצע בקבוצות כדי לדמות סביבת אמת של עבודת צוות רב-תחומי בתעשייה. במהלך הקורס תבוצע הצגה של תוצרי הביניים של הפרויקט למליאה כיתתית לצורך עירור דיאלוג ורב-שיח בין המשתתפים. הערות והנחיות מנחה הקורס במהלך הצגות אלו ישמשו את כלל הלומדים לשיפור התוצרים שלהם.

בנוסף לפרויקט הלומדים יידרשו ללמידה עצמית של חומרי רקע בנושאי חשיבה מערכתית מתוך רשימת הספרות לקורס, עיון בתיאורי מקרה ותיאורים מוקלטים של סוגיות מערכתיות נבחרות. מתוכנן שילוב של מומחים מעולמות התעשייה והממשל להצגה של סוגיות מערכתיות כפי שהן באות לידי ביטוי למעשה.

7.6 פירוט הפרקים והמפגשים בקורס

מפגש	נושא	פירוט
1.	מבוא לחשיבה מערכתית	מבוא לחשיבה מערכתית, חקר בעיה, נקודות מבט: דוגמאות – מערכות, בעלי עניין, סביבה והקשר למידה פעילה – חקירה של תהליך / מצב הגדרות מיומנויות ותהליכי חשיבה מערכתית התהליך המערכתי מבעיה לפתרון – הדגמה (הכנה לפרויקט)
2.	חשיבה מערכתית – מרכיבים	מבעיה הנדסית לבעיה מערכתית – גישות וכלים הנדסיים איסוף וניתוח צורכי הלקוח, ניהול בעלי העניין, מידול ועריכת תרשימים הנדסיים לתיאור התהליכים העסקיים ותהליכי התפעול הגדרת דרישות למאפייני המערכת, יעדי תוכן ובעיות תוכן מרכזיות כבסיס לגיבוש חלופות פתרון. תהליך הנדסת המערכות ותרחישי השימוש
3.	ניתוח סטאטי ודינאמי ברמת על (חשיבה מערכתית)	מיפוי מערכתי לולאות משוב, תהליכים מחזקים ומאזנים (לעומת חשיבה ליניארית) תהליכים לאורך זמן (לעומת תמונה רגעית/סטאטית)
4.	חשיבה מערכתית מבוססת מודלים	מודלים וניתוח התהליך העסקי ניתוח מערכת מבוססת מודלים שפות מידול בחשיבה מערכתית והנדסת מערכות

מפגש	נושא	פירוט
5.	שינוי והשתנות	מודלים מנטליים לחשיבה מערכתית מודל הקרחון, מודלי השפעה הגדרת דרישות למאפייני המערכת, יעדי תוכן ובעיות תוכן מרכזיות כבסיס לגיבוש חלופות פתרון. גיבוש וניתוח חלופות פתרון תוך אופטימיזציית המענה לדרישות לקוח ותעדוף הדרישות מיזוג ושיפור קונספטים, הגדרת ארכיטקטורת הפתרון ודיאגרמת בלוקים, שילוב מענה להיבטים משלימים של המערכת
6.	אפיון מערכתי	מבוא להנדסת דרישות, אפיון מערכות ותקשורת יעילה מול בעלי העניין דרישות פונקציונליות, כלים ושיטות להציג חלופות ולקבל החלטות, שיטות ניתוח וויזואליזציה, מפות דרכים, ניתוח רגישות ופרמטרים נלווים תכן מערכתי ואפיון הפתרון בראיה מערכתית, כולל שילובים בין מערכות, בדיקות, ניסויים והיבטים תומכים (תפעול והדרכה, אחזקה, אמינות ועוד)
7.	ראיה מערכתית של תהליכים	הדגמה ותרגול מענה מערכתי למגוון בעיות ארגוניות תכנון ויישום קווי ייצור כולל שדרוג מפעלי לתעשייה 4.0 הקמה וניהול מערכי איכות ותהליכי תחזוקה.
8.	הנדסה דיגיטלית	מיזוג של טכנולוגיות דיגיטליות מתקדמות עם יכולות הנדסת מוצר, שימוש בנתוני מערכות ומודלים לאורך מחזור החיים של מערכות
9.	יישומי חשיבה מערכתית בתהליכי ייצור	תכנון ויישום קווי ייצור בהתבסס על חשיבה מערכתית הנדסת איכות בראיה מערכתית
10.	חשיבה מערכתית לאורך מחזור החיים	תכנון ויישום תהליכי תחזוקה במוצרים ומערכות תכנון ויישום תהליכי תחזוקה במפעלים
11.	דוגמאות ויישומים	הרצאת אורח – יישומי חשיבה מערכתית בתעשייה
12.	מודלים לכישורי חשיבה מערכתית	מודל Waters מודל Frank מודל Arnold & Ross (גישה, תוכן, מבנה והתנהגות) דוגמאות ויישומים חינוך לחשיבה מערכתית
13.	סיכום הקורס	הרצאת מומחה מהתעשייה חזרה וסיכום

7.7 דוגמה # 1: ספרי לימוד

1. Meadows, D. (2008). Thinking in Systems: A Primer, Chelsea Green Publishing.
2. Hari A., Weiss M. P. ICDM – An Inclusive Method for Customer Driven Conceptual Design, Proceedings of the Second Annual Total Product Development Symposium, Pomona, CA, 1996, pp. 721 – 748.
3. Edson, R. (2008). Systems Thinking. Applied. A Primer. Arlington, VA, USA: Applied Systems Thinking (ASYST) Institute, Analytic Services Inc.
4. Edson, R. (2008). Applied Systems Thinking, Chapter 2 in the book: Systems Engineering in the Fourth Industrial Revolution, R.S. Kenett, R. S. Swarz, A. Zonnenshain, WILEY 2020
5. זוננשיין, ש. שטאובר (2014), מהקונקורד לכיפת ברזל - ניהול מערכות טכנולוגיות במאה ה-21, מרכז גורדון להנדסת מערכות, טכניון.
6. בלכמן (2021), הנדסת מערכות אמל"ח, הוצאת מערכות, צה"ל.

7.8 דוגמה # 1: מקורות

1. Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. Procedia Computer Science, 44, 669-678 .
2. Benson, T. A. (2020). Developing a Systems Thinking Capacity in Learners of all Ages, Waters Center for Systems Thinking.
3. Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2017). A Complete Set of Systems Thinking Skills, INCOSE International Symposium 27(1):1355-1370
4. Frank, M. (2012). Engineering Systems Thinking: Cognitive Competencies of Successful Systems Engineers, Moti Frank, Proceedings, CSER.
5. Frank, M. (2010). Assessing the interest in systems engineering positions and other engineering positions' required capacity for engineering systems thinking (CEST). Syst. Eng. 13, 161–174
6. Kim, D. H. (1999). Introduction to systems thinking. Waltham, MA: Pegasus Communications

8. דוגמה #2 ליישום תוכניות הכשרה לחשיבה מערכתית

8.1 אמנות חשיבה מערכתית במציאות מורכבת

תוכנית הלימודים הבאה בנושא אמנות חשיבה מערכתית במציאות מורכבת פותחה ע"י ד"ר סיגל קורל קורדובה. התוכנית מוצגת כבסיס לעיון ועדכון בהתאם לצרכים ולדגשים של מוסד אקדמי שיהיה מעוניין בפיתוח תוכנית כזו.

8.2 תוצרי הלמידה בקורס

1. הקניית הבנת היסודות של חשיבה מערכתית: הבנה מוצקה של העקרונות והמתודולוגיות של חשיבה מערכתית, לרבות ההיסטוריה שלה, מושגי מפתח ותיאוריות יסוד.
2. הקניית יכולת ניתוח מערכות מורכבות: פיתוח היכולת לנתח מערכות מורכבות, זיהוי מרכיביהן, מערכות היחסים והדינמיקה שלהן. למד להבחין בין סיבתיות ליניארית ומערכתית.
3. יישום חשיבה מערכתית על בעיות בעולם האמיתי: תרגול יישום גישות חשיבה מערכתיות לבעיות בעולם האמיתי, זיהוי דפוסים, תלות הדדית ולולאות משוב בהקשרים שונים.
4. חשיבה מערכתית ופתרון בעיות: שיפור מיומנויות החשיבה המערכתית על ידי לימוד גישה הוליסטית לבעיות, תוך התחשבות במספר נקודות מבט והשלכות ארוכות טווח.
5. מודלים ויישום כלי חשיבה של מערכות: לימוד השימוש במודלים ובכלים כדי לייצג מערכות מורכבות, לחזות תוצאות ולבחון התערבויות (מפות חשיבה, משוב ולולאות סיבתיות, דיאגרמות התנהגות לאורך זמן וכו').
6. קבלת החלטות בסביבות מורכבות: הבנה כיצד לקבל החלטות מושכלות בסביבות מורכבות ואי ודאות, תוך שילוב חשיבה מערכתית בתכנון אסטרטגי וקביעת מדיניות.
7. יישומים בינתחומיים: חקירה של היישום של חשיבה מערכתית על פני דיסציפלינות שונות, כולל עסקים, אקולוגיה, מדעי החברה והנדסה.

8.3 מבנה הקורס

הרצאה 1: מבוא לחשיבה מערכתית:

- סקירה כללית של חשיבה מערכתית: היסטוריה ויסודות.
- מונחי מפתח.
- "מערכת 1" לעומת "מערכת 2".
- הלך הרוח של חושב מערכתי.

הרצאה 2: תאר ותשאל (לפי שיטת DIMES לניתוח בעיות מורכבות, ד"ר רע לביא, MIT).

- כיצד לזהות ולסווג בעיות לא מובנות.
- כיצד ליצור תיאור מקרה לבעיה, בהתבסס על מודל 5W.

הרצאה 3: בצע מידול (לפי שיטת DIMES לניתוח בעיות מורכבות, ד"ר רע לביא, MIT).

- כיצד לייצג את הבעיה בהיררכיה מושגית, בהתבסס על תיאור המקרה.
- כיצד לזהות פערי ידע וחוסר עקביות במודל לשיפור תיאור המקרה.

הרצאה 4: חילוץ ומצב (לפי שיטת DIMES לניתוח בעיות מורכבות, ד"ר רע לביא, MIT).

- כיצד לזהות נקודות מינוף (יחס גבוה של השפעה מול עלות) במודל.
- כיצד לסכם את תיאור המקרה ונקודות מינוף לכדי הצגת תמציתית של הבעיה.

הרצאה 5: תהליך ושיטות

- מערכות מסתגלות וסוגיהן (קשות, רכות, אבולוציוניות ומורכבות).
- שיטות למערכות קשות: ניתוח מערכות, הנדסת מערכות, חקר ביצועים.
- שיטות למערכות רכות: CATWOE, Systemigrams, Soft: Soft Systems Methodology.

הרצאה 6-7: לולאות משוב על פי Peter Senge

- מבוא ללולאות משוב
- התבניות (ארכיטיפים) של Peter Senge
- ניתוח לולאות משוב
- תרגילי כיתה
- חקרי מקרה ודיונים קבוצתיים: ניתוח מקרים בעולם האמיתי המדגימים את השימוש בלולאות משוב.

הרצאה 8-11: תכן הנדסי

- מבוא: משולש העיצוב הרציונלי, הטיות קוגניטיביות, ניתוח וסינתזה. היבטים אתיים במערכות חכמות, התמודדות עם ניגודי עניינים, פשרה וקביעת נקודת איזון לקבלת החלטות.
- אפיון מערכת 1: מיזוג ושיפור קונספטים, הגדרת ארכיטקטורת הפתרון ודיאגרמת בלוקים, שילוב היבטים משלימים של המערכת. מבוא להנדסת דרישות, מפרט מערכת ותקשורת אפקטיבית עם בעלי עניין.

- אפיון מערכת 2: ניתוח רגישות ופרמטרים נלווים, דוגמאות ותיאורי מקרה למפרט ועיצוב מערכות רב-תחומיות.
- אפיון מערכת 3: תכנון מערכת ומפרט פתרונות מנקודת מבט מערכתית, כולל אינטגרציה בין מערכות, בדיקות, ניסויים והיבטים תומכים (תפעול והדרכה, תחזוקה, אמינות ועוד).

הרצאה 12: מרצה אורח

- מרצה אורח 1: מערכות סוציו-טכניות (אופציונלי)
- מרצה אורח 2: מנהיגות הנדסית (אופציונלי)

הרצאה 13: מצגות פרויקט כיתתי וסיכום

8.4 דוגמה #2: מקורות

1. Ackoff, R. (1971). Towards a system of systems concepts. *Management Science*, 17(11), 661-671.
2. Arnold, R., & Wade, J. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
3. Arnold, R., & Wade, J. (2017). A Complete Set of Systems Thinking Skills. 27th Annual INCOSE International Symposium (IS 2017) (pp. 1-17). Adelaide, Australia: INCOSE International Symposium. doi:DOI: 10.1002/j.2334-5837.2017.00433.x
4. Bertalanffy, L. v. (1968). *General System Theory. Foundations, Development, Application*. New York: George Braziller.
5. Buede, D. (2011). *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*. New York: Wiley.
6. Burge, S. (2015). *System Thinking: Approaches and Methodologies. An Overview of the Soft Systems Methodology*. Walsh UK: Burge Hughes Walsh. Retrieved from <http://www.burgehugheswalsh.co.uk/Uploaded/1/Documents/Soft-Systems-Methodology.pdf>
7. Cabrera, D., Cabrera, L., & Powers, E. (2015). A unifying theory of systems thinking with psychosocial applications. *Syst. Res. Behav. Sci.*, 32, 534-545. doi:10.1002/sres.2351
8. Checkland, P. (1999). *Systems Thinking, Systems Practice*. New York: Wiley.
9. Davidz, H. (2016). Insights based on an empirical study of systems thinking development. In M. Frank, H. Shaked, & S. Koral Kordova, *Systems Thinking: Foundation, Uses, and Challenge* (pp. 101-120). Nova Science.
10. Davidz, H. L., & Nightingale, D. J. (2008). Enabling systems thinking to accelerate the development of senior systems engineers. *Systems Engineering*, 11(1), 1-14.

11. Edson, R. (2008). *Systems Thinking Applied. A primer*. Arlington: VA.
12. Emes, M., & Griffiths, W. (2018). *Systems thinking: How is it used in project management*. APM Research Fund Series.
13. Kapsali, M. (2011). Systems thinking in innovation project management: A match that works. *International Journal of Project Management*, 29, 396–407. doi:10.1016/J.IJPROMAN.2011.01.003.
14. Kim, D. (1995). *Systems Thinking Tools*. Cambridge: Pegasus Communications.
15. Kim, W., & Mauborgne, R. (2014). *Blue ocean strategy, expanded edition: How to create uncontested market space and make the competition irrelevant*. Harvard business review Press.
16. Koral Kordova, S., & Frank, M. (2016). A model for describing the systems thinking factors. In M. Frank, H. Shaked, & S. Koral Kordova, *Systems Thinking Foundation, Uses and Challenges* (pp. 42-58). New York: NOVA.
17. Kordova, S., & Frank, M. (2018). Systems Thinking as an Engineering Language. *American Journal of Systems Science*, 6(1), 16-28. doi:10.5923/j.ajss.20180601.02
18. Lawson, H. (2010). *A journey through the systems landscape*. London: College Publications.
19. McDermott, T., & Freeman, D. (2016). *Systems Thinking in the Systems Engineering Process: New Methods and Tools*. In *Systems Thinking: Foundation, Uses and Challenges*. New York: Nova Science Publishers.
20. Monat, J. (2018). Applying Systems Thinking to Engineering and Design. *Systems*, 6, 34.
21. Monat, J., & Gannon, T. (2023). The meaning of "structure" in systems thinking. *Systems*, 11, 92. doi:https://doi.org/10.3390/systems11020092
22. Nagahi, M., Ullah Ibne Hossain, N., El Amrani, S., Jaradat, R., Khademibami, L., & Goerger, S. B. (2022). Investigating the Influence of Demographics and Personality Types on Practitioners' Level of Systems Thinking Skills. *IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT*, 69(6), 3923-3935. doi: 10.1109/TEM.2021.3075414
23. O'Connor, J., & McDermott, I. (1997). *The art of systems thinking*. San Francisco: Thorsons.
24. Richmond, B. (1991). *Systems Thinking: Four Key Questions*. High Performance Systems (HPS).
25. Richmond, B. (1994). System dynamics/systems thinking: Let's just get on with it. *System Dynamics Review*, 10, 165-157. doi:https://doi.org/10.1002/sdr.4260100204
26. Richmond, B. (2000). *The "thinking" in systems thinking: Seven essential skills*. Pegasus Communications.
27. Richmond, B., & Peterson, S. (2001). *An introduction to systems thinking*. High Performance Systems., Incorporated Lebanon, NH.
28. SEBoK. (2020). *Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), version 2.2*. Retrieved from www.sebokwiki.org

29. Senge, P. (1994). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. New York: NY: Doubleday.
30. Senge, P. M., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R. B., & Smith, B. J. (1994). *The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization*. New York: Currency Doubleday.
31. Sterman, J. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. . New York: McGraw-Hill.
32. Sweeney, L., & Sterman, J. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249-286. doi:10.1002/sdr.198
33. Waring, A. (1996). *Practical systems thinking*. Boston: Thomson Business Press.
34. Whitehead, N. (2014). *The Dimensions of Systems Thinking An Approach for a Standard Language of Systems Thinking*. Virginia: The University of Virginia.
35. Whitehead, N., Scherer, W., & Smith, M. (2015). Systems Thinking About Systems Thinking A Proposal for a Common Language. *IEEE Systems Journal*, 9(4), 1117-1128. doi:10.1109/JSYST.2014.2332494
36. Willams, B. (2005). *SOFT SYSTEMS METHODOLOGY*. Michigan: The Kellogg Foundation. Retrieved from <http://users.actrix.co.nz/bobwill>
37. Wilson, B. (2001). *Soft Systems Methodology. Conceptual model building and its contribution*. New York: John Wiley and Sons.
38. Zhao, Y. (2015). Towards innovative system development: A joint method of design thinking and systems thinking. *INCOSE International Symposium*, 25, pp. 1427–1437. doi:10.1002/J.2334-5837.2015.00140.X.

9. נספח: עיקרי מפגשים ופעילויות קבוצת העבודה

מפגש	מועד	מהלך המפגש
1- התנעה	21/6/23	<p>היכרות והצגת חזון ויעדים של קבוצת העבודה.</p> <p>סקירת רקע בנושא חשיבה מערכתית – אלכס בלכמן, אביגדור זוננשיין, ארנון בנטור.</p> <p>חשיבה מערכתית יישומית – ד"ר רוברט אדסון.</p> <p>שיח משתתפים.</p> <p>סיכום וקביעת יעדים להמשך.</p>
2	17/7/23	<p>פתיחה וסבב היכרות.</p> <p>ממצאים עיקריים מתוך מחקר מתמשך בחשיבה מערכתית – ד"ר סיגל קורדובה, ד"ר ענת ניסל-מילר.</p> <p>תובנות מפיתוח וניהול קורס חשיבה מערכתית – ד"ר נתן פינחס.</p> <p>שיח משתתפים.</p> <p>סיכום וכיווני המשך.</p>
3	4/9/23	<p>פתיחה ועדכונים – וועדת היגוי.</p> <p>הצגת קורס מיפוי מערכתי לאתגרים חברתיים והתחרות הבינלאומית Map the System – עו"ד ריטה גולדשטיין (אוניברסיטת חיפה).</p> <p>אבחון בעיה ארגונית באמצעות כלים של חשיבה מערכתית – ד"ר דורון פארן (מכללת בראודה).</p> <p>היערכות להפעלה ואינטגרציה במגה פרויקטים – שרון בן עזרא.</p> <p>התייחסות משתתפים.</p> <p>סיכום וכיוונים להמשך.</p>
4	8/11/23	<p>פתיחה ועדכונים – וועדת היגוי.</p> <p>Dr. Rea Lavi, New Engineering Education Transformation Program, MIT - Teaching Introductory Systems Thinking to Undergraduate Engineering Students</p> <p>Sheri Marlin, CEO, Waters Center for Systems Thinking - Building Systems Thinking Capacity</p> <p>התייחסות משתתפים.</p> <p>סיכום וכיוונים להמשך.</p>

מהלך המפגש	מועד	מפגש
<p>לימוד חשיבה מערכתית כחלק מהקשר או במסגרת פרויקט מעשי. לימוד מתוך מאמצים והכשרות שפותחו (למשל – קורס חשיבה מערכתית שפותח ע"י ד"ר ענת ניסל-מילר). קורס שפותח ומועבר ב-MIT ע"י ד"ר רע לביא, קורס שפותח ע"י ד"ר מיכאל וינקור ב-HIT. הגדרת קהל היעד, מטרות הלמידה ובהתאם לכך המסגרת הפדגוגית (שיטות, מטלות, כלי הערכה ומדידה). התאמת למידה פעילה למסגרת ולמתכונת ההכשרה (Project-Based Learning, Learning Case-Based וכו').</p>	27/11/23	הכשרה – מפגש 1
<p>פתיחה ועדכונים – וועדת היגוי. Dr. Ori Orhof - Project Management <-> Systems Thinking - הציג תכנון והקמת שדה תעופה כמערכת מורכבת באמצעות תהליכים משולבים מניהול פרויקטים, הנדסת תהליכים, הנדסת ייצור והנדסת מערכות, כאשר משלבים בהם כלי חשיבה מערכתית כמו: מעגלי היזון חוזר, שימוש במודלים ממוחשבים, מעבדות היוצרות שגרת לימוד והפקת לקחים (ORAT). Dr. Meira Levi-Design Thinking<-> Systems Thinking - הציגה את עקרונות והשיטות המקובלות של חשיבה עיצובית המשמשת במיוחד לתכן פתרונות ומערכות מרוכזות וממוקדות בצרכי האנשים-מפעילים, משתמשים ולקוחות. הצגת מובילי פעילות ועדכונים: ד"ר סיגל קורל-קורדובה (קונספט הכשרה לחשיבה מערכתית-קורס חשיבה מערכתית משותף לשלוש מוסדות אקדמיים-טכניון, אריאל, MIT), סרגיי טוזיק (יישום חשיבה מערכתית בקורס קיים לאינטגרציה מערכתית), ד"ר אלכס בלכמן (דוח מחקר בנושא חשיבה מערכתית-יופץ בהקדם לעיון הקבוצה ותרומות נוספות מצד חברי הקבוצה). . התייחסות משתתפים. . סיכום וכיוונים להמשך.</p>	18/12/23	5

מהלך המפגש	מועד	מפגש
<p>ד"ר סיגל קורל-קורדובה: סילבוס לקורס משותף עם MIT והטכניון נמצא בפיתוח. הקורס כולל פרקים של מבוא, ניתוח הבעיה, כלים לחשיבה מערכתית ותכן מערכתי.</p> <p>ד"ר נתן פנחס: מלמד את הקורס "הנדסת מערכות בפרויקטי תשתית" ויש בו פרק מיוחד לחשיבה מערכתית, אם כי הנושא שזור לכל אורך הפרקים באופן טבעי, בדגש על נושאי הנדסה אזרחית. ניתנת משימה - Challenge - לאורך הסמסטר. חשוב להעניק למהנדסים ראייה רחבה: הקשר ממסדי, רגולטורי, כלכלי וגלובלי. רואה שני ערוצי קידום - קורס מעשי (בדגש על תכן הנדסי) וקורס תיאורטי/הומאני (אולי בשיתוף פעולה בינלאומי שיוסיף ליוקרה ולאטרקטיביות).</p> <p>ד"ר נירית גביש: כדאי שהקורס יהיה מקושר לתוכנית הלימודים ולא חיצוני/לימודים הומניסטיים. בבראודה כחלק מפרויקט א' הסטודנטים נחשפים לעולמות חקר הבעיה וחשיבה מערכתית. ייתכן ומודול של כלים לחשיבה מערכתית יתאים לשילוב כחלק מפרויקט א'.</p> <p>סרגיי טוזיק: מלמד נושאים של חשיבה מערכתית כחלק מקורסי אינטגרציה, תיקוף ובדיקות. חשוב לעסוק במעבר בין עולם הבעיה לתכן המערכתי - היום הגדרת הבעיה היא מונחית פתרון ויש מעט עיסוק בבעיה הגדולה שבה המרכיב הטכנולוגי הוא חלק קטן.</p>		<p>הכשרה - 2</p>
<p>פתיחה ועדכונים - וועדת היגוי.</p> <p>ד"ר סיגל קורל-קורדובה וד"ר רע לביא - עדכונים על קידום נושאי הכשרה לחשיבה מערכתית בקורס משותף לאוניברסיטת אריאל (סיגל) ול-MIT (רע).</p> <p>Dr. Ross Arnold, Dr. Jon Wade - Systems Thinking with Game-Based Assessment and Artificial Intelligent - Presentation + Q/A</p>	17/1/24	6
<p>פתיחה ועדכונים - וועדת היגוי.</p> <p>חשיבה מערכתית בתכן של רכבים אוטומטיים והתנהגות רכב אוטונומי במרחב הציבורי - ד"ר אסף דגני, General Motors.</p> <p>חשיבה מערכתית לפיתוח מודל לאורח חיים בריא - ד"ר חיים גזית.</p> <p>עדכוני קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית - ד"ר אלכס בלכמן.</p> <p>כיוונים להמשך וסיכום.</p>	26/2/24	7

1. Edson, R. (2008). Systems Thinking. Applied. A Primer. Arlington, VA, USA: Applied Systems Thinking (ASYST) Institute, Analytic Services Inc.
2. Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. *Procedia Computer Science*, 44, 669-678. doi: 10.1016/j.procs.2015.03.045
3. Benson, T. A. (2020). Developing a Systems Thinking Capacity in Learners of all Ages, Waters Center for Systems Thinking.
4. Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2017). A Complete Set of Systems Thinking Skills, *INCOSE International Symposium* 27(1):1355-1370
5. John C. Camillus (2008), Strategy as a Wicked Problem, *Harvard Business Review* from the Magazine <https://hbr.org/2008/05/strategy-as-a-wicked-problem>
6. Lavi, R. (2022), Decarbonizing Ulaanbaatar: Using DIMES-FIRST Methodology to Tackle a Climate and Sustainability Challenge, *Medium* https://medium.com/@realavi_58810/decarbonizing-ulaanbaatar-using-dimes-first-to-tackle-a-climate-and-sustainability-challenge-e8f7e6fee715
7. Reinhard Haberfellner, Olivier de Weck, Ernst Fricke, Siegfried Vössner (2021), *Systems Engineering: Fundamentals and Applications*, Springer
8. Leyla Acaroglu (2017), Tools for Systems Thinkers: The 6 Fundamental Concepts of Systems Thinking, *Medium* <https://medium.com/disruptive-design/tools-for-systems-thinkers-the-6-fundamental-concepts-of-systems-thinking-379cdac3dc6a>
9. Daniel Kim (1999), Palette of Systems Thinking Tools, *The Systems Thinker* <https://thesystemsthinker.com/palette-of-systems-thinking-tools/>
10. Daniel Kim (2000), Systems Thinking Tools – A reference guide, Pegasus Communications, Cambridge <https://thesystemsthinker.com/wp-content/uploads/2016/03/Systems-Thinking-Tools-TRST01E.pdf>
11. H. Sillitto, D. Dori, R. Griego, S. Jackson, D. Krob, P. Godfrey, Eileen Arnold, James N. Martin, D. McKinney (2017), Defining "System": a Comprehensive Approach, Published 1 July 2017, *INCOSE International Symposium*
12. Menachem P. Weiss, Amihud Hari, Avigdor Zonnenshain (2002), Design of the concept of a new system, using ICDM - Integrated, Customer Driven, Conceptual Design Method, *INCOSE International Symposium* 12(1):980-988 DOI: 10.1002/j.2334-5837.2002.tb02564.x
13. Carmen Reaiche and Samantha Papavasiliou (2022), Management Methods for Complex Projects, <https://jcu.pressbooks.pub/pmmethods/chapter/soft-systems-methodology/>
14. Checkland P and Scholes J (1990), *Soft systems methodology in action*, vol. 7, Wiley, Chichester.

15. Meadows, D. (1999), *Leverage points: places to intervene in a system*, The Sustainability Institute.
16. אנסטאזי א. (1990). מבחנים פסיכולוגיים. הוצאת האוניברסיטה הפתוחה.
17. בן ברוך, א. (1980). ארגונים חברתיים כמערכות פתוחות, עיונים במינהל ובארגון החינוך, 9, עמ' 5-26.
18. סנג'י, פ. (2004). הארגון הלומד. הוצאת חטר.
19. זוננשיין, א., שטאובר, ש., מהקונקורד לכיפת ברזל: ניהול מערכות טכנולוגיות במאה ה-21, הוצאת שטאובר 2014.
20. שרון, ש. (1976) גישה מערכתית לשיפור בית הספר. עיונים בחינוך, 10, עמ' 81-100.
21. בן משה ליבנה, ל. וגולשטיין-גלפרין, ר. (2023), שינוי מערכתי הלכה למעשה, שיתופים וקיימא, https://wiki.sheatufim.org.il/w/uploads/sheatufim/6/68/System_thinking_V3_FIX_%D7%A1%D7%95%D7%A4%D7%99.pdf
22. Bloom, B.S. (1956). *Taxonomy of educational objectives, Handbook in Cognitive Domain*, David McKay Company, Inc. New York.
23. Davidz, H. (2005). Accelerating the development of senior systems engineers. Paper presented in *INCOSE 2005, the 15th International Symposium of the International Council on Systems Engineering*. INCOSE: Seattle, WA.
24. Dror, Y. (1984) *A System Approach towards the integration of curriculum elements*. Paper presented at the international seminar on "School Based Curriculum Development", Tel Aviv University.
25. Frank, M. (2002). Characteristics of Engineering Systems Thinking – A 3-D Approach for Curriculum Content. *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics (Part C)*, vol. 32, no. 3, pp. 203-214.
26. Frank, M. (2002). What is "engineering systems thinking"? *Kybernetes*, 31(9/10), 1350-1360.
27. Frank, M. (2007). *Assessing interest for systems engineers job positions – results of a recent study. 5th Annual Conf. on Systems Engineering Research (CSER 2007)*. Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, USA, 14-16 March 2007.
28. Frank, M. (2010). Assessing the interest for systems engineering positions and other engineering positions' required capacity for engineering systems thinking (CEST). *Systems Engineering*, 13(2), 161-174.
29. Frank, M. & Kordova, S. (2009) *Developing the capacity for engineering systems thinking (CEST) of senior engineering management students: learning in a project-based learning (PBL) environment*. Paper presented at the 7th Annual Conference on Systems Engineering Research 2009 (CSER 2009), Loughborough University, England.
30. Frank, M., & Waks, S. (2001). Engineering systems thinking: A multifunctional definition. *Systemic Practice and Action Research*, 14(3), 361-379.

31. Holmberg, S. (2000). A systems perspective on supply chain measurements. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(10), 847-852.
32. Katz, D. & Kahn, R.L. (1966). *The Social Psychology of Organization*, New York, John Wiley.
33. Kim, D.H. *System Thinking Tools*. Cambridge: Pegasus Communications, 1995.
34. Koral-Kordova, S. & Frank, M. (2016). Model for describing the systems thinking factors. In: *Systems Thinking: Foundation, Uses, and Challenges*. Series: Management Science – Theory and Applications. Nova Science Publishers, Ch.3, 2016 [ISBN: 978-1-63485-223-4].
35. Koral Kordova, S., Frank, M. & Nissel, A. (2018). Systems thinking education - Seeing the forest through the trees, *Systems*, 6(3), (1-14).
<https://doi.org/10.3390/systems6030029>
36. Koral Kordova, S. & Frank, M. (2018). Systems Thinking as an Engineering Language. *American Journal of Systems Science*, 6(1), (16-28).
10.5923/j.ajss.20180601.02
37. Lamb, C. T., & Rhodes, D. H. (2007), Standardized Process as a Tool for Higher Level Systems Thinking. In *INCOSE International Symposium*, 17(1), 1492-1502.
38. Miller, A. N., Kordova, S., Grinshpoun, T., & Shoal, S. (2022). Identifying a Systems Thinker: Matching a Candidate's Systems Thinking Abilities with the Job. *Applied System Innovation*, 5(2), 38.
39. Miller, A. N., Kordova, S., Grinshpoun, T., & Shoal, S. (2023). Worth 1000 words: Using pictures to identify systems thinkers. *Thinking Skills and Creativity*, 50, 101401.
40. Miller, A. N., Kordova, S., Grinshpoun, T., & Shoal, S. (2023). To be or not to be a systems thinker: Do professional characteristics influence how students acquire systems-thinking skills?. In *Frontiers in Education* (Vol. 8, p. 1026488). Frontiers.
41. Miller-Nissel, A. (2023), *Characterization and Development of Systems Thinking* (Doctoral Dissertation), Faculty of Industrial Engineering and Management, Ariel University.
42. Richmond, B. (1994). System Dynamics/Systems Thinking: Let's just get on with it. *International Systems Dynamics Conference, Sterling, Scotland*, 10(2-3), 135-157.
43. Reich, Y. (2017) The principle of reflexive practice. *Design Science*, 3, e4
44. Reich, Y. (2023). The Archimedes Code: a dialogue between science, practice, design theory, and systems engineering. *Design Science*, 9, 2023.
45. Resnick, L. (1987). *Education and Learning to Think*, Washington D.C.: National Academy Press.
46. Rittel, H. W., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy sciences*, 4(2), 155-169.

47. Senge, P.M. *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, N.Y. Doubleday, 1994.
48. Subrahmanian, E., Reich, Y., and Krishnan, S. (2020) *We Are Not Users: Dialogues, Diversity, and Design*, The MIT Press.
(open access: <https://direct.mit.edu/books/oa-monograph/4596/We-Are-Not-UsersDialogues-Diversity-and-Design>).

11. נספח א': משתתפי קבוצת העבודה לחשיבה מערכתית

מס'	שם	ארגון
1.	ד"ר אלכס בלכמן	מוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית
2.	פרופ' ארנון בנטור	מוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית
3.	ד"ר אביגדור זוננשיין	מרכז גורדון, מוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית
4.	פרופ' אלון דומניס	מכללת עזריאלי
5.	ד"ר קובי ענבר	מכללת עזריאלי
6.	ד"ר שרון שושני	מכללת טכניון
7.	ד"ר נתן פנחס	קמ"ג, טכניון
8.	ערן ראובני	טכניון
9.	ד"ר מאיר טחן	מכללת אורט בראודה
10.	ד"ר מוטי ליבוביץ	אוניברסיטת בן גוריון
11.	עוזי אוריון	אוניברסיטת ת"א
12.	ד"ר לוי גוטליב	רפאל, מוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית
13.	ד"ר דניאל מרום	טכניון
14.	ד"ר רע לביא	MIT
15.	עמי הראל	יועץ
16.	ד"ר ענת ניסל מילר	מכללת אורט בראודה
17.	סרגי טוזיק	יועץ, אוניברסיטת תל אביב
18.	ד"ר סיגל קורדובה	אוניברסיטת אריאל
19.	ד"ר ברוך קרפ	קמ"ג, טכניון
20.	ד"ר דורון פארן	מכללת אורט בראודה
21.	ד"ר נירית גביש	מכללת אורט בראודה
22.	ד"ר עדי כץ	מכללת סמי שמעון
23.	נעמי בלנק	הזירה הטכנולוגית
24.	איתמר גולדברגר	נתיבי תחבורה עירוניים (נת"ע)
25.	ד"ר עמי הרי	טכניון
26.	פרופ' פרדי גבאי	מכללת רופין
27.	שרון בן עזרא	משרד ראש הממשלה
28.	עו"ד ריטה גולדשטיין	אוניברסיטת חיפה
29.	לורנס ארנהיים	אוניברסיטת ג'ון הופקינס

מס'	שם	ארגון
.30	תמיר שלומי	טכניון
.31	ד"ר משה ויילר	טכניון, אוניברסיטת תל אביב
.32	ד"ר אורי אורחוף	יועץ
.33	ד"ר יאיר מעיין	מכללת אורט בראודה
.34	יריב מרמור	מכללת אורט בראודה
.35	פרופ' מעיין אגמון	אוניברסיטת חיפה
.36	אלי שראל	מכללת סמי שמעון ומכללת רופין
.37	ד"ר מאירה לוי	מכללת שנקר
.38	רחל יעקובסון	משרד החינוך - אגף המו"פ
.39	ד"ר שאול ניב אליהו	טכניון, תעשיה אוורית
.40	פרופ' מוטי פרנק	האקדמית רמת גן
.41	שרי מרלין	WATERS CENTER
.42	ד"ר רוברט אדסון	MITRE
.43	ד"ר דינה ציבולסקי	טכניון
.44	ד"ר אריג' מואסי	טכניון
.45	פרופ' איתן נוח	טכניון
.46	ד"ר עידו רול	טכניון
.47	ד"ר מירי ימיני	אוניברסיטת ת"א
.48	אור מנור	The Institute for Innovation Assessment
.49	ד"ר רינת רוזנברג-קימה	טכניון
.50	ד"ר שירלי אברגיל	טכניון
.51	ד"ר שולמית קפון	טכניון
.52	ד"ר טלי טל	טכניון, מוסד נאמן למחקר מדיניות לאומית
.53	ד"ר זהבית כהן	טכניון

12. נספח ג': הגדרות לחשיבה מערכתית – מקורות נבחרים

"Systems thinking is a discipline for seeing wholes. It is a framework for seeing interrelationships rather than things, for seeing patterns of change rather than static "snapshots".

Senge, P. M. (1990). The fifth discipline: The art and practice of the learning organization. Doubleday

"Systems thinking can be thought of as a language for communicating about complexities and interdependencies.

<https://thesystemsthinker.com/systems-thinking-as-a-language/>

"a way of making sense of the complexity of the world by looking at it in terms of wholes and relationships rather than by splitting it down into its parts."

Magnus Ramage and Karen Shipp. 2009. Systems Thinkers. Springer

"a way of exploring and developing effective action by looking at connected wholes rather than separate parts."

Introduction to Systems Thinking. Report of GSE and GORS seminar. Civil Service Live. 3 July 2012. Government Office for Science.

"a set of synergistic analytic skills used to improve the capability of identifying and understanding systems, predicting their behaviors, and devising modifications to them in order to produce desired effects. These skills work together as a system."

Arnold, J. E., & Wade, J. P. (2015). A definition of systems thinking: A systems approach. Procedia Computer Science, 44, 669-678. doi: 10.1016/j.procs.2015.03.045

"a way of seeing and talking about reality that helps us better understand and work with systems to influence the quality of our lives. (...). It also involves a unique vocabulary for describing systemic behavior, and so can be thought of as a language as well."

Kim, D. H. (1999). Introduction to systems thinking. Waltham, MA: Pegasus Communications

13. נספח ד': תכונות ונושאים להתייחסות בבחינת מערכות –

מקורות נבחרים

הרעיון של התבוננות על מערכת ממספר נקודות מבט מופיע במספר רב של פרסומים ומאמרים. נספח זה כולל היבטים נבחרים לניתוח או התייחסות למערכות. הרשימה אינה ממצה או מלאה ומטרתה להציג מספר כיווני חשיבה מהספרות שיכולים להשלים את התיאור בגוף המסמך. אין כוונה להציע או להמליץ התייחסות זו או אחרת אלא להציע כיוונים שניתן להפעיל בנסיבות העניין או מול משימה ספציפית.

תיאור של היבטי חשיבה מערכתית אצל (Acaroglu, 2017):

1. **Interconnectedness** – קישוריות
2. **Synthesis** – סינתזה
3. **Emergence** – התהוות
4. **Feedback Loops** – מעגלי משוב
5. **Causality** – סיבתיות
6. **Systems Mapping** – מיפוי מערכתית

רשימה של תכונות מערכות (המתמקדת בעיקר במבנה) לפי Olivier de Weck ואחרים (2021):

1. **Systems/Elements/Relationships** – רכיבים של המערכת והיחסים ביניהם.
2. **System Boundary/Environment** – הקשר וסביבה של המערכת.
3. **Structure of a System** – מבנה של המערכת.
4. **Subsystems** – תתי מערכות המרכיבים את המערכת.
5. **Suprasystems** – מערכות-על המכילות את המערכת.
6. **System of Systems** – מערכת של מערכות הכלולות בה.
7. **Systems Hierarchy** – רמות ויחסים בין מערכת, תת-מערכת ורכיבים/מכלולים.
8. **Black Box, Gray Box, and White Box** – רמת הידע באשר לתהליכי ההתמרה הפנימיים בין הפלט לקלט.
9. **Aspects of a System/System Types** – היבטים של המערכת מזוויות שונות, כגון זרימת מידע או הזנת אנרגיה.

היבטים לחשיבה מערכתית לפי האיגוד העולמי להנדסת מערכות (למעשה מהווה רשימה נוספת לתכונות של מערכות)⁷:

1. **Wholeness and Interaction** – שלמות ואינטראקציה.
2. **Regularity** – סדר וארגון.

⁷https://sebokwiki.org/wiki/Concepts_of_Systems_Thinking

- .3 **State and Behavior** – מצב והתנהגות.
- .4 **Survival Behavior** – התנהגות יציבה (שורדת).
- .5 **Goal Seeking Behavior** – התנהגות למען מטרה.
- .6 **Control Behavior** – התנהגות מבוקרת.
- .7 **Function** – פונקציה / מטרה.
- .8 **Hierarchy, Emergence and Complexity** – היררכיה, התהוות ומורכבות.
- .9 **Effectiveness, Adaptation and Learning** – מועילות, הסתגלות ולמידה.

מבטים על מערכת לפי (Olivier de Weck et al, 2021):

- .1 **מבט ממוקד סביבה** (surroundings-oriented view) לזיהוי הגורמים החיצוניים המשפיעים על המערכת.
- .2 **גישה ממוקדת תוצאות (קופסה שחורה)** effect-oriented (black box) approach העוסקת בתוצאות ללא התייחסות למבנה הפנימי.
- .3 **מבט ממוקד מבנה** (structure-oriented view) הכולל את החלקים הסטטיים (מבנה) והדינמיים (תהליכים) של המערכת.
- .4 **מבט היררכי (מהמערכת למעלה)** – זיהוי מערכות-העל שבהן פועלת המערכת ובהתאם עמידה על גבולותיה והממשקים שלה.
- .5 **מבט היררכי (מהמערכת למטה)** – תיאור המבנה ברמת פירוט גדלה והולכת במספר שלבים.

מבטים על המערכת לפי רשימת תרשימים בשפת SysML לניתוח מערכת:

- .1 **Requirement Diagram** – דיאגרמת דרישות.
- .2 **Block Definition Diagram** – דיאגרמת הגדרת בלוקים.
- .3 **Internal Block Diagram** – דיאגרמת בלוקים פנימיים.
- .4 **Parametric Diagram** – דיאגרמת פרמטרים.
- .5 **Package Diagram** – דיאגרמת חבילות.
- .6 **Activity Diagram** – דיאגרמת פעילויות.
- .7 **Sequence Diagram** – דיאגרמת רצף.
- .8 **State Machine Diagram** – דיאגרמת מכונת מצבים.
- .9 **Use Case Diagram** – דיאגרמת תרחישי שימוש.



neaman.org.il

מוסד שמואל נאמן למחקר מדיניות לאומית | קרית הטכניון,
חיפה 3200003 | טל. 04-8292329 | info@neaman.org.il

חינוך מהנדסים