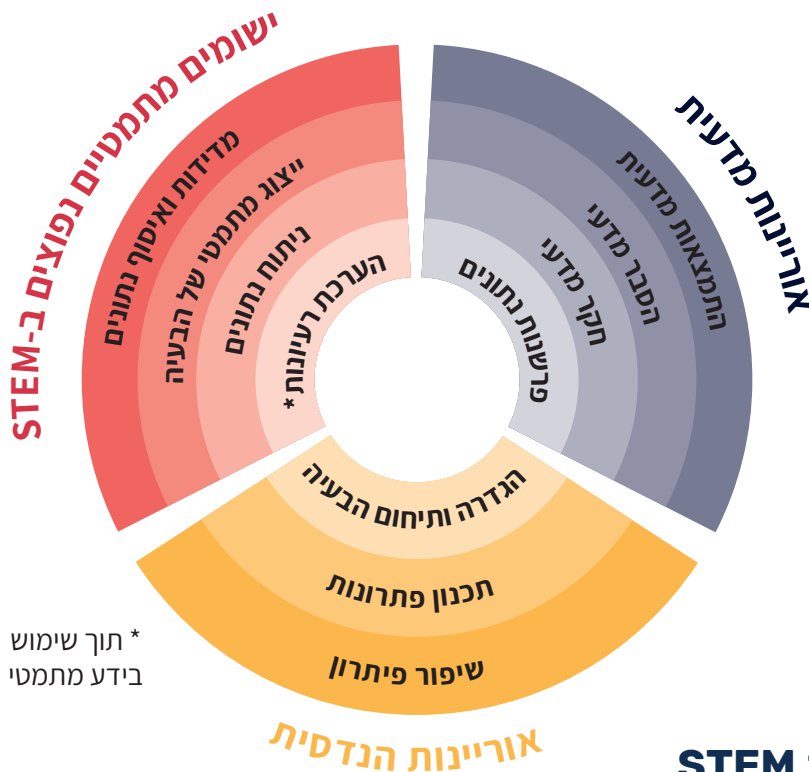


שער שני:

מיומנויות הליבה בגישת STEM ותהליך הלמידה



2. מיומנויות הליבה בגישת STEM ותהליך הלמידה



פרק זה עוסק בהיבטים של הטמעת סוגי האוריינות השונים בתחומי ה-STEM. בלמידה בין-תחומית, ראשית מלמדים כל תחום דעת בנפרד ורק לאחר מכן מבנים את הידע וההקשרים הבין-תחומיים. בהתאמה לכך, בפרק זה מוצגים סוגי האוריינות בכל תחום דעת בנפרד, ולאחר מכן מוצג תהליך למידה STEM בין-תחומי ויישומים אינטגרטיביים של התחומים השונים.

2.1 אוריינות מדעית דרכים ליישום מיטבי בגישת STEM

אוריינות מדעית משמעה היכולת להשתמש בידע, במושגים וברעיונות מדעיים כדי לתאר ולהסביר תופעות, לזהות שאלות לחקירה מדעית, להסיק מסקנות מבוססות ראיות ולהשתמש בנתונים אובייקטיביים ובידע מדעי בהיבטים לימודיים, חברתיים ואישיים, אגב הבנת הרלוונטיות והנחיצות של המדע לחיי היום-יום. יכולת זו מובילה לגיבוש זהות מדעית ומאפשרת חתירה פעילה לצדק חברתי וסביבתי.

אוריינות זו כוללת ארבע יכולות ליבה: התמצאות מדעית, הסבר מדעי של תופעות, תכנון ביצוע והערכת מחקר ופרשנות מדעית של נתונים וראיות.

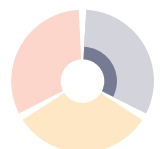
מאחר שמדע הוא אחד מרכיבי STEM בין-תחומי, הידע המדעי יוביל את המהלך והאוריינות המדעית תשולב בידע (כמו גם האוריינות המתמטית והטכנולוגית-הנדסית). סוגי האוריינות השונים יתפסו מקום מרכזי בסל הידע והמיומנויות שיופעלו במסגרת התוכנית.

דרכים ליישום של אוריינות מדעית ב-STEM

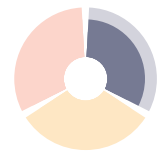
1. התמצאות מדעית - התלמידים והתלמידות מזהים שאלות מדעיות, מכירים מאפיינים של הסברים ותיאורים מדעיות וכן מאפיינים מרכזיים של מחקר מדעי. התלמידים והתלמידות מעריכים דיווחים במדיה על אודות נושאים הקשורים למדע ומזהים היבטים אתיים של ניסויים מדעיים.

2. הסבר מדעי של תופעות - התלמידות והתלמידים משתמשים בידע מדעי לתיאור ולהסבר של תופעות ותהליכים, וכן כדי לנסח ולהעריך טיעון מדעי בהקשרים מגוונים (למשל, בתכנון פרויקטים, בחיזוי תופעות, בקבלת החלטות).

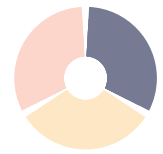
התלמידים מזהים מודלים, בונים אותם, משתמשים בהם ומעריכים אותם ומיישמים חשיבה מערכתית.



3. תכנון, ביצוע והערכה של מחקר מדעי - התלמידים והתלמידות מנסחים, מבצעים ומעריכים מחקר, תצפיות וניסויים, מזהים את מגבלות המחקר והדרכים להתמודד איתן, ומיישמים אמצעים להבטחת מהימנות נתונים ואובייקטיביות של נתונים והסברים. התלמידים לומדים על חשיבות התנהלות ביושרה ובשקיפות בעריכת ניסויים ובדיווח תוצאותיהם.



4. פרשנות מדעית של נתונים - התלמידים והתלמידות רוכשים כלים לניתוח וייצוג נתונים ואת ממצאי החקר המדעי והשלכותיו על הסביבה והחברה, מעריכים ראיות וטיעונים, משתמשים בחשיבה הסתברותית לצורך הערכת מידת הוודאות של הסבר, תיאוריה או טענה ומזהים את ההשלכות האפשריות של ידע מדעי על סוגיות חברתיות, סביבתיות ומוסריות.



2.2 אוריינות הנדסית וטכנולוגית ודרכים ליישום מיטבי בגישת STEM

אוריינות הנדסית וטכנולוגית

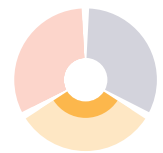
הנדסה היא עיסוק שיטתי בתכן כדי להשיג פתרונות לבעיות של בני אדם. טכנולוגיה כוללת את כל סוגי המערכות והתהליכים מעשה ידי אדם, לא באופן הצר שבו לעיתים משווים טכנולוגיה למחשבים ולאלקטרוניקה.

אוריינות הנדסית וטכנולוגית היא היכולת להגדיר בעיות, על ידי ניסוח קריטריונים ואילוצים לפתרונות מקובלים, יצירה והערכה של כמה פתרונות, בניית אבות טיפוס ובדיקתם וייעול פתרון.

טכנולוגיות מתקבלות כאשר מהנדסות ומהנדסים מיישמים את ההבנה שלהם על העולם הטבעי ועל התנהגות בני אדם, כדי לתכנן דרכים למלא את צורכי בני האדם. הטכנולוגיה היא התוצר של ההנדסה. התכן ההנדסי החליף את המונח הישן יותר 'תכן טכנולוגי', ומשמעותו מזוית ההוראה והלמידה היא המחזור הרב-שלבי של תכן המציע את הפוטנציאל הגדול ביותר ליישום ידע מדעי בכיתה ועיסוק בפרקטיקות הנדסיות.

פעולות התכן ההנדסי¹¹

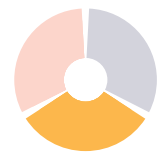
1. הגדרה ותיחום של בעיות הנדסיות - כרוכים בניסוח הבעיה בצורה ברורה ככל האפשר מבחינת קריטריונים להצלחה, אילוצים או מגבלות.



2. תכנון פתרונות לבעיות הנדסיות - מתחיל ביצירת כמה פתרונות אפשריים שונים, ולאחר מכן הערכת פתרונות פוטנציאליים כדי לראות אילו מהם עומדים בצורה הטובה ביותר בקריטריונים ובאילוצים של הבעיה.



3. אופטימיזציה של פתרון התכן - כרוכה בתהליך שבו פתרונות נבדקים ומשוכללים (refined) באופן שיטתי והעיצוב הסופי משתפר על ידי תעדוף והחלפה של תכונות פחות חשובות באלו החשובות יותר. רעיונות אלו אינם בהכרח באים זה אחר זה, בדומה לשלבי החקר המדעי. בכל שלב יכולים פותר או פותרת הבעיות להגדיר את הבעיה מחדש, או לייצר פתרונות חדשים כדי להחליף רעיון שלא עובד.



אפשר לשלב הנדסה עם מדע באופן המקדם שוויון הזדמנויות, על ידי שאילת שאלות ופתרון בעיות בעלות משמעות באמצעות הנדסה בכיתה בהקשרים מקומיים - לדוגמה תכנון מתקן לסינון מים, תכנון ציוד רפואי ומכשירי תקשורת לחירשים. תלמידים מעמיקים כך את הידע המדעי שלהם, לומדים לראות את המדע כרלוונטי לחייהם ולעתידם ועסוקים

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*.¹¹ Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>.

במדע בהקשר רלוונטי מבחינה חברתית ובדרכים טרנספורמטיביות. מזווית של אוריינות גלובלית, הנדסה מספקת הזדמנויות לחדשנות וליצירתיות ברמת בית הספר. זהו תחום חיוני להתמודדות עם אתגרי העולם, וחשיפה לפעילויות הנדסה כמו תחרויות של המצאות יכולה להצית עניין בלימוד מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה ובקריירות עתידיות.



דרכים ליישום של אוריינות הנדסית טכנולוגית ב-STEM

הגדרה ותיחום של בעיות הנדסיות: התלמידים עוסקים בתהליך התכנון והביצוע של תכן הנדסי והערכתו, כולל זיהוי צרכים אנושיים, דרישות מהמוצר ואילוצים, ניסוח בעיה הנדסית, עריכת אפיון הנדסי לרעיון וקביעת קריטריונים להצלחת הפתרון.

תכנון פתרונות לבעיות הנדסיות: התלמידים משתמשים בידע מדעי והנדסי בתכנון פתרונות לסוגיות מורכבות והצדקתם, תוך הפעלה של חשיבה מערכתית, יצירתית וביקורתית.

התלמידים משתמשים במודלים הנדסיים חשיבתיים ומפתחים מודלים כאלה.

התלמידים עוסקים בתהליך התכנון והביצוע של תכן הנדסי והערכתו, בהעלאת רעיונות לפתרונות והערכתם, בבחירת רעיון מתאים, בתכנון בניית הפתרון, בבניית הפתרון והערכתו.

התלמידים מתנהלים ביושרה ובשקיפות תוך הפעלת שיקולים חברתיים ואתיים בקבלת החלטות בכל שלבי התהליך.

אופטימיזציה של פתרון התכן: התלמידים יבחנו את תהליך התכן בכל שלביו ויבדקו את השלכות של התכן ההנדסי ותוצריו על הפרט, החברה והסביבה, תוך התייחסות לסוגיות חברתיות, סביבתיות ומוסריות.

התלמידים ישתמשו בכלים לניתוח נתונים לצורך הסקת מסקנות לשיפור המוצר ולפתרון הבעיות החדשות שנוצרו ולקבלת החלטות מושכלת הנשענת על ראייה מערכתית ורב-תחומית של הבעיה מחד גיסא ושל הפתרון ההנדסי-טכנולוגי מאידך גיסא.

2.3 יישומים מתמטיים ב-STEM בין-תחומי

זרקור על הוראת מתמטיקה ב-STEM בין-תחומי

מתמטיקה מייצגת את אחד מארבעת אבני היסודי של ה-STEM. יחד עם זאת, מתמטיקה לרוב אינה מובילה את למידת ה-STEM, שהוא בין-תחומי מטבעו, אלא מהווה כלי עזר חיוני בתהליך החקר המדעי והתיכון ההנדסי. מתמטיקה מאפשרת הצגה של משתנים והקשר ביניהם וכן מאפשרת ניסוח תחזיות, אישוש תיאוריות ואיתור דפוסים וקורלציות בתוך תהליך החקר המדעי. כמו כן, מתמטיקה הכרחית בתהליך התכן ההנדסי בכך שהיא מאפשרת למתאמים להריץ מבדקים ומודלים מתמטיים כדי להעריך את היעילות של הפתרון ההנדסי לפני בניית האב-טיפוס.¹²

בהקשר הרחב יותר, אפשר לראות את האוריינות המתמטית בתוך ה-STEM כיכולת להיעזר במתמטיקה כאשר מתעורר הצורך שלנו לקבלת החלטות שקולות, לדון לעומק בסוגיות מקומיות וגלובליות ולהבין את השימושיות שלה בחיי היום-יום, בעולם מלא אי ודאות, דילמות וחדשות כזב (Fake News).¹³

יש לשים לב, שכאשר מתמטיקה נלמדת בתוך ה-STEM עליה להיעשות כהוראה מפורשת, אחרת תלמידים עלולים לפספס את הפוטנציאל שלה ועלולות להיווצר מיס-קונספציות.^{14, 15} יש צורך לתווך לתלמידים כיצד המושגים והפרקטיקות המתמטיות יכולים לתרום בצורה יעילה להבנה של שאר מקצועות ה-STEM. כמו כן, חשוב לשמור על הוראה של מתמטיקה באופן עצמאי, לא רק בהקשר של STEM בין-תחומי.¹⁶ חיזוק לכך אפשר למצוא במחקרים העוסקים בהוראת מתמטיקה במסגרת ה-STEM באשר לתרומת הוראת ה-STEM הבין-תחומי להישגים במתמטיקה.

כך למשל, קבוצת מחקרים הראתה שתלמידים הם בעלי מוטיבציה גבוהה יותר וזוכים להישגים טובים יותר במבחנים במתמטיקה כאשר מורים מיישמים את גישת ההוראה של ה-STEM הבין-תחומי.

ההשפעה החיובית על הישגיהם הוסברה בכך שלמידה אינטגרטיבית ורלוונטית המחוברת לבעיות עולם אמיתיות מאפשרת יישום של הידע המתמטי, והבנה כיצד הנושא המתמטי משמש בתחומים שונים.¹⁷

לעומת זאת, במחקרים אחרים שפורסמו, לא נמצא בהכרח קשר מובהק בין הישגים במתמטיקה והוראה בגישת STEM בין-תחומי. ייתכן כי ניתן להסביר זאת בהיעדר הוראה מעמיקה ושיטתית בגישה זו.¹⁸

נקודה חשובה בשילוב המתמטיקה בתוך הוראת ה-STEM הבין-תחומי היא הקוהרנטיות בין הציפיות ליישום המתמטיקה בתוך תהליכי החקר והתכן ההנדסי, לבין הבשלות הקוגניטיבית והמערכת הלימודית במתמטיקה בהקשר לשכבת הגיל של

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM education*, 3, 1-11. ¹² <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM education*, 3, 1-8. ¹³ <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>

J. Michael Shaughnessy. (2013). Mathematics in a STEM Context. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 18(6), 324. <https://doi.org/10.5951/mathteacmidscho.18.6.0324> ¹⁴

.Fitzallen, N. (2015). STEM Education: What Does Mathematics Have to Offer?. *Mathematics Education Research Group of Australasia* ¹⁵

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM education*, 3, 1-8. ¹⁶ <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM education*, 3, 1-11. ¹⁷ <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM education*, 3, 1-8. ¹⁸ <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>

התלמידים. כלומר, מורכבות תהליכי ה-STEM תלויה במידה רבה בגיל התלמידים וביכולת להעמיק בסוגיות שונות.¹⁹ למשל, תלמידי הכיתות הנמוכות בבית הספר היסודי אינם מבינים את משמעות הממוצע או פעולות החשבון בשברים, ועל כן שילוב של נושאים אלו בפעילויות STEM צריך להישקל בשום שכל.

הקושי לחבר בין פעילויות STEM לבין תוכנית הלימודים במתמטיקה בשכבת גיל מסוימת תועד כאחד האתגרים שמורים ציינו ביישום גישת הוראת ה-STEM הבין-תחומי. לצד אתגר זה, צוינו חסמים נוספים כגון תחושת מחסור בזמן או במשאבים ליישום הפעילות.²⁰

פרקטיקות מתמטיות נפוצות בתוך הוראת STEM בין-תחומי

שלב בהוראת STEM	הפרקטיקות המתמטיות
חקר מדעי	איסוף נתונים
בניית מודלים	ייצוג מתמטי של הבעיה (מידול) באמצעות ייצוגים מתאימים, כך שאפשר יהיה לבצע ניתוח נתונים, הערכות, חיזוי והסקת מסקנות. הייצוג המתמטי יכול להישען על נושאים מתמטיים שונים: סטטיסטיקה, מידות ומדידות, פרופורציה, כמויות ועוד.
ניתוח נתונים	שימוש בכלים סטטיסטיים, כגון: ייצוג גרפי של נתונים, טבלת שכיחויות, שכיחות יחסית ואחוזים.
הערכה של רעיונות או פתרונות	שימוש בידע מתמטי לצורך עריכת השוואות בין פתרונות אפשריים לבעיית ה-STEM.

מחווון לשילוב המתמטיקה במשאבי הוראה-למידה-הערכה ב-STEM בין-תחומי

האם יחידת ה-STEM

1. משלבת מושגים מתמטיים ברמה התואמת את שכבת הגיל?
2. כוללת שאלות לתלמידים ולתלמידות שמצריכות איסוף, ניתוח נתונים וייצוגים?
3. מבקשת מהתלמידים ומתלמידות להשתמש בנתונים שהם אוספים כדי להצדיק טענות מדעיות ועיצוב החלטות?
4. מבקשת מהתלמידים להשתתף במטלות מדידה אותנטיות שמחברות בין המדעים ו/או ההנדסה? מטלות אלה יכולות לכלול בין היתר: למידה איך להשתמש בכלי מדידה, חשיבה על השונות בין המדידות, חשיבה על מקורות הטעות ועל האפשרות לשקול מדידה חוזרת, למידה המאפשרת לתלמידים לפתח כלי מדידה משל עצמם ולבחון אותם.
5. מקדמת הבנה של חשיבה מתמטית?
6. מספקת הזדמנויות ללמוד וליישם טכניקות שונות, מיומנויות, תהליכים וכלים הקשורים ללמידה מתמטית?

Fitzallen, N. (2015). STEM Education: What Does Mathematics Have to Offer?. Mathematics Education Research Group of Australasia. 19.

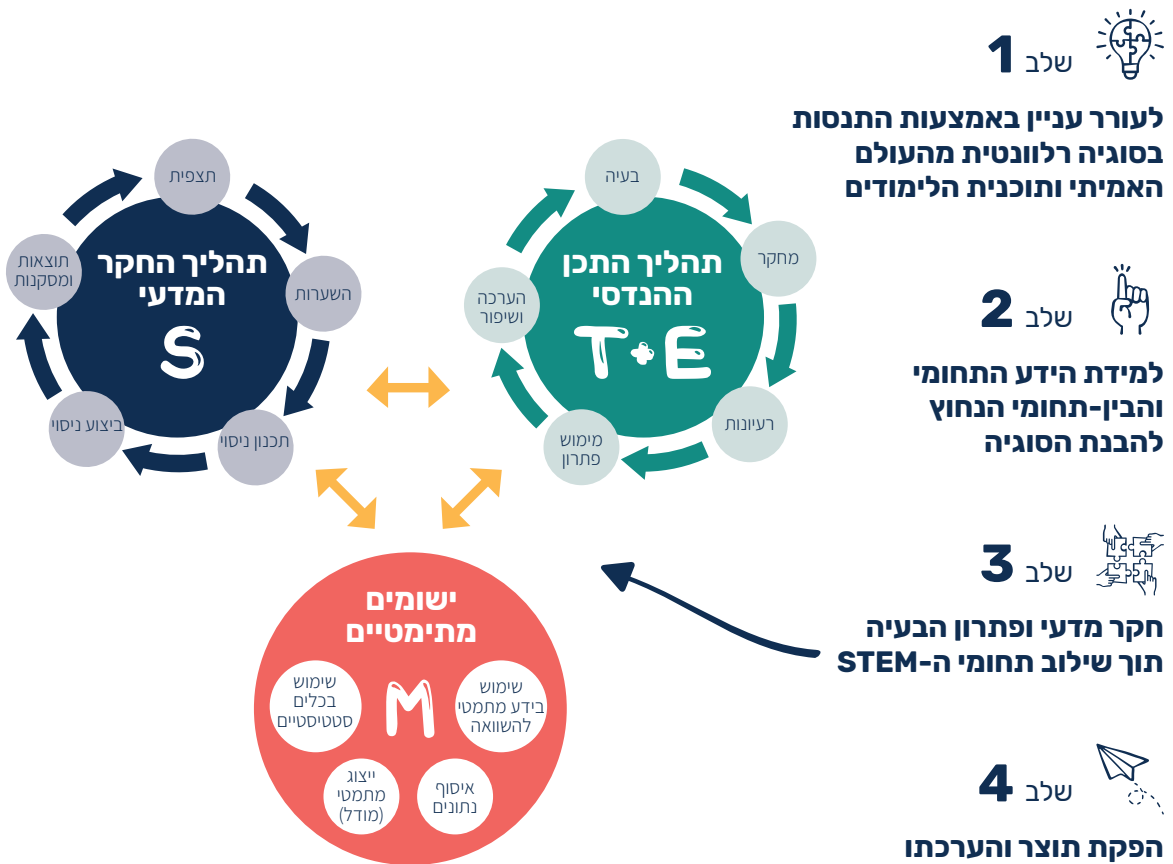
Sevimli, E., & Ünal, E. (2022). Is the STEM Approach Useful in Teaching Mathematics? Evaluating the Views of Mathematics Teachers. *European Journal of STEM Education*, 7(1),1.

2.4 תהליך הלמידה STEM

מהי גישת חינוך STEM בין-תחומי מקדם הוגנות בבתי הספר היסודיים?

גישה להוראה המפתחת אצל התלמידים ידע ויכולת להסביר ולחקור תופעות, לפתור בעיות או לפתח מוצר, באופן המשלב בין תחומי דעת, תוך כדי פתרון בעיות של העולם האמיתי ולמידה התנסותית מדעית והנדסית.

מהלך למידה STEM בין-תחומי מקדם הוגנות



אופי הלמידה:

- ✦ **הבניית ידע המשולב בפיתוח המיומנויות:** אוריינות מדעית ופתרון בעיות, חשיבה יצירתית וביקורתית, עבודת צוות ומכוונות עצמית בלמידה
- ✦ **פרקטיקות הוראה מקדמות הוגנות**
כגון: רתימת הון מדעי ומתן בחירה
- ✦ **למידה התנסותית**
במעבדה, במרחב מייקר ומחוץ לכיתה
- ✦ **הערכת תהליך הלמידה**
הערכה מעצבת של הידע והמיומנויות באופן המקדם את הלמידה

הטכנולוגיה בכלל ותהליך התכנן ההנדסי בפרט מייצגים את הדרך שבה ניתן מענה לצורך או פתרון לבעיה, תוך איתור ידע מדעי חדש (לתלמידים) ויישום בשלבי התכנון, הייצור, ההערכה והשיפור של מוצר. התהליך מחייב הפעלת שיקול דעת, התייחסות ביקורתית להיבטים שונים (כלכליים, חברתיים, ערכיים), יצירתיות והתנסות בעבודה בצוות.²¹

כדי ש-STEM בין-תחומי מקדם הוגנות יהיה רלוונטי וקרוב לעולם של התלמידים והתלמידות באופן המעודד פיתוח זהות מדעית והרחבת ההון המדעי שלהם, על תהליך הלמידה המלא להיות מבוסס על בעיית עולם אמיתי, ולעודד יצירת תוצר בעל ערך לסוגיה הנלמדת בעקבות תהליך חקר ופתרון בעיות.

לצד קידום אוריינויות, STEM תהליך הלמידה מאופיין גם בלמידה התנסותית בקבוצות קטנות, המעודדת חשיבה ביקורתית ויצירתית והקפדה על הערכה מעצבת לאורך התהליך. כמו כן, בעבודה עם התלמידים יש לדאוג להשתתפות מיטבית של כלל התלמידים בעזרת פרקטיקות מקדמות הוגנות, שעליהן תוכלו לקרוא בהרחבה בפרק הבא.

2.5 פעולות בהוראת חקר מדעי ותכנן הנדסי משולב

הפרקטיקות המדעיות וההנדסיות יכולות להיות משולבות בזו אחר זו ברצף לוגי, אך בהוראה נפרדת – לדוגמה להתחיל בחקר מדעי ומהמסקנות להעלות רעיונות לפיתוח הנדסי, או לחלופין ניתן להתחיל בהגדרת בעיה ולבצע חקר כדי לאפיין אותה, להציע פתרונות ולאחר מכן לבצע חקר כדי להעריך אותם. דרך שנייה לשלב בין מדע והנדסה היא בשילוב הדוק יותר. לדוגמה, כאשר מתכננים ומבצעים ניסויים במדע או מתכננים ומבצעים בדיקות של אב-טיפוס בהנדסה, קיימת חפיפה בין שתי המיומנויות ואפשר ללמדן ביחד. רצוי לבצע את השילוב בין מדע והנדסה בכל אחת משתי הדרכים כדי שהתלמידים יכירו את מאפייני המדע וההנדסה באופן בהיר וגם את הדרכים שבהן הם משתלבים. המדע וההנדסה חולקים מיומנויות משותפות, שתיים מהן שונות באופן משמעותי בין המדע והנדסה, והן: 1. שאילת שאלות והגדרת בעיות; 2. ניסוח הסברים ותכנון פתרונות.

1. שאילת שאלות והגדרת בעיות

שאלות מדעיות עולות במגוון דרכים, לדוגמה בעקבות התנסות בתופעה או לימוד של נושא מדעי. הן עולות מתוך סקרנות לגבי העולם, לגבי הסבר או תיאוריה שהצענו או למדנו או בעקבות ממצאים של מחקר קודם. כמו כן, כאשר עולה הצורך לפתור בעיה מתעוררות לצידה שאלות מגוונות.

שאלות מדעיות שונות מאחרות בכך שהן ניתנות לבחינה בכלים מדעיים כמו חקר מדעי, תצפית או בניית מודל – לדוגמה, ביצוע חקר להשגת ראיות אמפיריות, כלומר ראיות כמותיות המבוססות על ניסויים, תצפיות ועל מדידות ומכשירים. שאילת שאלות תמיד מובילה לפרקטיקות מדעיות והנדסיות נוספות. לדוגמה ניתן לשאול שאלה לגבי נתונים, שתוביל לניתוח ולפרשנות נוספת, או שאלה שמובילה לתכנון חקר או לדיוק של התכנון.

בעוד שהמדע עוסק בשאלות מדעיות, ההנדסה מתחילה בהגדרת בעיה לפתרון. בשכבות הגיל הצעיר אפשר להגדיר בעיה פשוטה שאפשר לפתור באמצעות פיתוח של חפץ או כלי חדש, או שיפור חפץ או כלי קיים. בשכבות הגבוהות יותר, מגדירים בעיית תכנון שאפשר לפתור באמצעות הפיתוח של חפץ, כלי, תהליך או מערכת ולכלול בהגדרת הבעיה גם קריטריונים להצלחה ואילוצים הקשורים לחומרים שבהם אפשר להשתמש, לזמן או לעלות. יש להיעזר בידע מדעי שעליו מתבססת הגדרת הבעיה וההחלטה לגבי הפתרונות האפשריים. רצוי להביא בחשבון שיקולים, סביבתיים, חברתיים וטכנולוגיים.

דוגמאות לפעולות

- לשאול שאלות שניתן לחקור באופן מדעי במסגרת מעבדה, חדר מייקר, או מרחב משולב – לדוגמה מרחב STEM המשלב מעבדת מחקר ופיתוח, או מרחב טבע עם משאבים זמינים, ובמידת הצורך, לנסח השערה המבוססת על הסבר אפשרי, מודל או תיאוריה.

²¹ <https://mada.org.il/media/fmehf3fk/%D7%93%D7%A0%D7%9E%D7%A8%D7%A7-%D7%A0%D7%A2%D7%9C%D7%99-%D7%A7%D7%A1%D7%9D.pdf>

- לשאול שאלות הנובעות מתצפית מושכלת בתופעות, ומובילות את מהלך התצפית. כמו כן ניתן לשאול שאלות הנובעות מניסוי לדוגמה, שאלות המנסות לאתר קשרי סיבה ותוצאה אפשריים, כלומר, איזה קשר ייתכן שקיים בין משתנים או בין רכיבים במערכת, או שאלות על תוצאות שהתקבלו בחקר, כדי לנסח חיזוי שאותו אפשר יהיה לבדוק בחקר המשך, וכן שאלות על תוצאות מפתיעות של החקר, כדי להבהיר ולחפש מידע נוסף.
- בשכבות הגיל הצעיר מציגים לתלמידים ולתלמידות בעיות כמצבים שאנשים מבקשים לשנות. הם יכולים להשתמש בכלים ובחומרים כדי לפתור בעיות פשוטות, לייצג בדרכים מגוונות את הפתרונות שלהם ולקבוע איזה מהם הוא הטוב ביותר ומתאים לצרכים ולמטרות שלהם. בכיתות הגבוהות יותר התלמידים והתלמידות מגדירים בעיה ומציינים את הקריטריונים להצלחה ואת האילוצים לפתרונות האפשריים. התלמידים מביאים בחשבון את ההקשר הרחב שבמסגרתו מוגדרת הבעיה.

2. פיתוח ושימוש במודלים

במדע, מודלים יכולים להיות פיזיים או מוצגים בתרשימים, בגרפים או בייצוגים מתמטיים. הם משמשים לייצוג מערכת נחקרת, לסיוע בהעלאת שאלות ופיתוח הסברים. אפשר להפיק נתונים ממודלים מתמטיים ולהשתמש בהם לביצוע תחזיות ולתקשר רעיונות לאחרים.

מצופה מתלמידים להעריך ולדייק מודלים באמצעות השוואה בין המודל לעולם האמיתי והערכת מגבלותיו של המודל. בהנדסה, אפשר להשתמש במודלים כדי לנתח מערכת על רכיביה ואת הקשרים ביניהם, כדי לראות היכן או באילו תנאים עלולים להתפתח פגמים או כדי לבדוק פתרונות אפשריים לבעיה. מודלים יכולים לשמש גם כדי להמחיש ולדייק תכנון, לחבר בין רכיבי התכנון, וכאב-טיפוס לבדיקת ביצועי התכנון. המודלים כוללים דגמים, דיאגרמות, ייצוגים מתמטיים, אנלוגיות וסימולציות ממוחשבות. כל המודלים מכילים קירובים והנחות שמגבילים את טווח התוקף וכוח הניבוי, ולכן חשוב שהתלמידים יכירו במגבלותיהם.

דוגמאות לפעולות

- לפתח, להשתמש ולתקן מודלים לתיאור, בדיקה וחיזוי של תופעות ומערכות תכנון מופשטות יותר.
- להעריך מגבלות של מודל עבור אובייקט או כלי מוצע.
- לפתח או לשנות מודל - בהתבסס על ראיות - כדי להתאים למה שקורה אם משתנה או רכיב של מערכת משתנה.
- לפתח ו/או לשנות מודל כדי להראות את הקשרים בין משתנים, כולל אלה שאינם ניתנים לצפייה אך מנבאים תופעות נצפות.
- לפתח ו/או להשתמש במודל כדי לחזות ו/או לתאר תופעות.
- לפתח מודל לתיאור מנגנונים בלתי ניתנים לצפייה.
- לפתח ו/או להשתמש במודל להפקת נתונים כדי לבחון רעיונות לגבי תופעות במערכות טבעיות או מתכונות, כולל כאלה בקנה מידה בלתי ניתן לצפייה.
- בשכבות הגיל הצעירות - להבחין בין מודל לבין האובייקט, התהליך או האירועים שהמודל מייצג, להשוות בין מודלים, לפתח ולהשתמש במודל כדי לייצג כמויות, יחסים, סדרי גודל (גדול יותר, קטן יותר) ודפוסים בעולם הטבע ובעולם מעשה ידי אדם. בשכבות הגיל הבוגר יותר מפתחים מודלים של מערכות באופן שיתופי, משכללים אותו על בסיס עדויות על היחסים בין המשתנים שבמערכת, מפתחים מודלים תוך שימוש באנלוגיה, דוגמה או ייצוג מופשט המשמש לתאר עיקרון מדעי או פתרון הנדסי, מפתחים מודלים ומשתמשים בהם כדי לתאר תופעה נצפית או לחזות תופעה באופן מושכל, מפתחים דיאגרמה או אב-טיפוס פיזיקלי המייצג אובייקט מוצע, כלי או תהליך, מפתחים מודלים של מערכת המבוססת על גורמים במצב אי ודאות ושקשה לחזות אותם.

3. תכנון וביצוע תהליך חקר ותכן הנדסי

תהליך חקר יכול להיות מובנה על ידי המורה או באמצעות חקר פתוח שמאפשר לתלמידים ולתלמידות להתנסות באופן עצמאי, למשל בבחירת השאלה ו/או תכנון השיטות לבדיקתה. חקר מדעי יכול לשמש כדי לאפיין תופעה או לבחון הסבר, תיאוריה או מודל ואילו תכן הנדסי יכול לשמש כדי לפתח מוצר או מערכת טכנולוגית, לתקן או לשפר אותם או להשוות בין פתרונות שונים כדי לאתר את הפתרון הטוב ביותר במסגרת האילוצים ולתת מענה לצורך הקיים. בין שהתלמידים ותלמידות עוסקים במדע ובין שבהנדסה, חשוב כי יציינו את מטרת החקר והתכן, יחזו תוצאות ויתכננו דרכי פעולה שיספקו תמיכה במסקנותיהם או הפרכה שלהן. בניסוי החקר ובתכן ההנדסי מצופה מהתלמידים להבדיל בין המשתנים השונים בניסוי ובתכנון.

דוגמאות לפעולות

- לבצע חקר שמספק ראיות אמפיריות כמותיות לתמיכה בהסברים או פתרונות.
- לתכנן חקר תוך התייחסות למשתנים השונים, לחזרות ולבקרה, לבחירת הכלים הנדרשים לאיסוף התוצאות, קליטת המדידות והערכת רמות הנתונים הנדרשים כדי לתמוך בטענה.
- להעריך את דיוק השיטות השונות לאיסוף נתונים.
- לערוך חקר ולאסוף נתונים שישמשו כבסיס לראיות כדי לענות על שאלות מדעיות או לבחון פתרונות תכנון במגוון תנאים.
- לאסוף נתונים על הביצועים של אובייקט, כלי, תהליך או מערכת מוצעים במגוון תנאים.

4. ניתוח ופירוש של נתונים

מדענים ומהנדסים מקבלים החלטות על סמך הראיות שהתקבלו מהתהליך החקר. לפיכך, לאחר איסוף הנתונים, יש להציג את הנתונים בצורה שיכולה להביא לידי ביטוי את משמעות הנתונים – ואת הרלוונטיות שלהם – כך שהם יכולים לשמש כראיה לתמיכה במסקנותיהם.

מהנדסים לרוב מסתייעים ביצירת מודלים או אב-טיפוס ובאיסוף נתונים נרחבים על ביצועיו, כולל בתנאים קיצוניים. ניתוח של נתונים מסוג זה לא רק מסייע בקבלת החלטות תכנוניות ומאפשר חיזוי או הערכה של ביצועים, אלא גם עוזר להגדיר או להבהיר בעיות, לקבוע היתכנות כלכלית, להעריך חלופות ולחקור כשלים.²²

דוגמאות לפעולות

- להשתמש במגוון כלים לטבלאות, ייצוג גרפי, הדמיה וניתוח.
- לשפר את היכולות לפרש נתונים על ידי זיהוי תכונות ודפוסים משמעותיים.
- להשתמש במתמטיקה כדי לייצג קשרים בין משתנים ולהביא בחשבון מקורות שגיאה.
- במידת האפשר, על התלמידים להשתמש בכלים דיגיטליים כדי לנתח ולפרש נתונים.
- לייצג נתונים בטבלאות ו/או תצוגות גרפיות שונות (גרפי עמודות, ו/או תרשימי עוגה) כדי לחשוף דפוסים המציינים קשרים.
- לנתח ולפרש נתונים כדי להבין את התופעות, תוך שימוש בהיגיון לוגי, מתמטיקה ו/או חישוב.
- להשוות נתונים שנאספו על ידי קבוצות שונות על מנת לדון בדמיון ובהבדלים בממצאיהם.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. 22 Washington, DC: The National Academies Press, 61-62. <https://doi.org/10.17226/18290>.

- לנתח נתונים כדי לדייק צורך או בעיה או תכנון של אובייקט, כלי או תהליך מוצעים.
- להשתמש בנתונים כדי להעריך ולדייק את פתרון התכנון.

5. שימוש במתמטיקה וחשיבה חישובית

מתמטיקה היא אחד מהכלים להבנת המדע. לפיכך, ההוראה בכיתה חייבת לכלול ידע ומיומנויות יסוד מתמטיות. למרות שיש הבדלים באופן יישום מתמטיקה וחשיבה חישובית במדע ובהנדסה, מתמטיקה מפגישה לרוב את שני התחומים הללו על ידי כך שהיא מאפשרת למהנדסים ולמהנדסות ליישם את הצורה המתמטית של תיאוריות מדעיות, ומאפשרת למדענים ומדעניות להשתמש בטכנולוגיות מידע שתוכננו על ידי מהנדסים.

התלמידים והתלמידות צפויים להשתמש במתמטיקה כדי לייצג משתנים פיזיקליים ואת הקשרים ביניהם, ולבצע ניבויים כמותיים. יישומים אחרים של מתמטיקה במדע ובהנדסה כוללים לוגיקה, גיאומטריה, אריתמטיקה, אלגברה, סטטיסטיקה והסתברות. מחשבים וכלים דיגיטליים יכולים לשפר את כוחה של המתמטיקה על ידי אוטומציה של חישובים, קירוב פתרונות לבעיות שלא ניתן לחשב במדויק וניתוח מערכי נתונים גדולים הזמינים לזיהוי דפוסים משמעותיים. התלמידים צפויים להשתמש בכלי מעבדה המחברים למחשבים לצורך התבוננות, מדידה, רישום ועיבוד נתונים. כמו כן, התלמידים והתלמידות צפויים לעסוק בחשיבה חישובית, הכוללת אסטרטגיות לארגון וחיפוש נתונים, יצירת רצפי שלבים הנקראים אלגוריתמים, ושימוש בסימולציות.

דוגמאות לפעולות

- לנתח נתונים ולהשוות פתרונות תכנון חלופיים.
- להחליט אם נתונים איכותיים או כמותיים הם הטובים ביותר כדי לקבוע אם אובייקט או כלי מוצע עומדים בקריטריונים להצלחה.
- לארגן מערכי נתונים פשוטים כדי לחשוף דפוסים המצביעים על קשרים.
- לתאר, למדוד, להעריך כמויות (לדוגמה, שטח, נפח, משקל, זמן) כדי לטפל בשאלות ובעיות מדעיות והנדסיות.
- להשתמש בגרפים או בתרשימים שנוצרו מאלגוריתמים פשוטים כדי להשוות פתרונות חלופיים לבעיה הנדסית.

6. בניית הסברים ותכנון פתרונות

מטרת המדע היא לייצר הסברים לתופעות, לטענות ולהכללות. התלמידים מצופים לבנות את ההסברים וליישם מתוך ידע שרכשו בשיעור או באופן עצמאי תוך חשיבה יצירתית. ההסבר נתמך במדעים בין היתר על ידי ראיות שמתקבלות מתצפיות, מניסויים, ממודלים ועוד.

מטרת ההנדסה היא לפתור בעיות. תכנון פתרונות לבעיות הוא תהליך שיטתי, הכולל את הגדרת הבעיה ולאחר מכן יצירת פתרונות, בדיקתם ושיפורם.

בהנדסה, המטרה היא תכנון פתרון ולא הסבר לתופעה. תהליך התכנון ההנדסי הוא איטרטיבי ושיטתי, וכך גם תהליך של פיתוח הסבר או תיאוריה במדע. עם זאת, לפעילויות של מהנדסים יש רכיבים שונים מאלה של מדענים. רכיבים אלה כוללים ציון האילוצים וקריטריונים לאיכויות הרצויות של הפתרון, פיתוח תוכנית תכן, ייצור ובדיקה של מודלים או אבות-טיפוס, בחירה בין פתרונות חלופיים כדי לייעל את השגת קריטריוני התכנון, ודיוק רעיונות תכנון המבוססים על ביצועי אב-טיפוס או סימולציה.

דוגמאות לפעולות

- להשתמש בראיות בבניית הסברים המציינים משתנים המתארים ומנבאים תופעות, ובתכנון מספר פתרונות לבעיות תכנון.
- לבנות הסבר ליחסים שנצפו (למשל, התפלגות הצמחים בחצר האחורית).
- להשתמש בראיות (למשל, מדידות, תצפיות, דפוסים) כדי לבנות או לתמוך בהסבר או לתכנן פתרון לבעיה.
- לזהות את הראיות התומכות בנקודות מסוימות בהסבר.
- ליישם רעיונות מדעיים כדי לפתור בעיות תכנון הנדסיות.
- ליצור ולהשוות מספר פתרונות לבעיה על סמך עד כמה הם עומדים בקריטריונים ובאילוצים של פתרון התכנון.

7. טיעון מדעי על בסיס ראיות ונתונים

דיון טיעוני הוא תהליך שבו מנסים להגיע להסכמות על הסברים ופתרונות. במדע, ההנמקה והטיעון מבוססים על עדויות והם חיוניים לזיהוי ההסבר הטוב ביותר לתופעה בטבע. בהנדסה, הנמקה וטיעון נחוצים כדי לזהות את הפתרון הטוב ביותר לבעיה הנדסית. תהליך הטיעון הדרוש לקידום והגנה על רעיון חדש או הסבר של תופעה הוא אבן דרך חשובה בלימודי המדעים וההנדסה.

חשוב שתלמידים ותלמידות ינסחו ויציגו טיעונים מדעיים כדי להבין את התרבות שבה חיים מדענים ומדעניות, ואת דרכי היישום של מדע והנדסה לטובת החברה. טיעון הוא תהליך המבוסס על ראיות והנמקה, שמוביל להסברים מקובלים על הקהילה המדעית ולפתרונות לתכנון המקובלים על קהילת ההנדסה.

דיון טיעוני במדע חורג מהגעה להסכמות בהסברים ובפתרונות תכנון. בין שחוקרים תופעה, בודקים פתרון לבעיה או בונים מודל שיספק מנגנון להסבר, התלמידים צפויים להשתמש בטיעון כדי להקשיב, להשוות ולהעריך רעיונות ושיטות מתחרים על סמך יתרונותיהם. מדענים ומהנדסים מנסחים ומעריכים טיעונים בעת חקירת תופעה, בדיקת פתרון תכנון, פתרון שאלות לגבי מדידות, בניית מודלים של נתונים ושימוש בראיות להערכת טענות.

דוגמאות לפעולות

- להבחין בין עובדות, ולהפעיל שיקול דעת מנומק על סמך ממצאי מחקר והשערות בהסבר.
- להעביר ולקבל ביקורות מעמיתים על הליך מוצע, הסבר או מודל על ידי ציון ראיות רלוונטיות והצגת שאלות ספציפיות.
- לבנות או לתמוך בטיעון באמצעות ראיות, נתונים או מודל.
- להשוות ולדייק טיעונים על סמך הערכה של הראיות שהוצגו.
- להשתמש בנתונים כדי להעריך טענות לגבי סיבה ותוצאה.
- לטעון בהצעות של פתרון לבעיה על ידי ציון ראיות רלוונטיות לגבי האופן שבו היא עומדת בקריטריונים ובאילוצים של הבעיה.
- לבנות טיעון משכנע התומך או מפריך טענות להסברים או פתרונות לגבי העולם הטבעי והמתוכנן.
- לבנות, להשתמש ולהציג טיעון בעל פה ובכתב, הנתמך בראיות אמפיריות ובנימוקים מדעיים, כדי לתמוך או להפריך הסבר או מודל לתופעה או פתרון לבעיה.
- להציג טיעון בעל פה או בכתב התומך או מפריך את הביצועים המפורסמים של מכשיר, תהליך או מערכת בהתבסס על ראיות אמפיריות לגבי השאלה האם הטכנולוגיה עומדת בקריטריונים ובאילוצים רלוונטיים.
- להעריך פתרונות תכנון מתחרים המבוססים על קריטריוני תכנון משותפים ומוסכמים.

8. איתור, הערכה ותקשור מידע מדעי וטכני

היכולת לקרוא, לפרש ולכתוב מידע מדעי וטכני היא מיומנות בסיסית של מדע והנדסה, כמו גם היכולת להציג מידע בצורה ברורה ומשכנעת. כתיבה מדעית מהותית הן למדע והן להנדסה, כדי להציג הסברים ותובנות מתהליך החקר ורעיונות לתכן הנדסי. לפיכך מצופה כי התלמידים יקראו ויבינו מידע מדעי מספר, ממאמר או מאמצעי תקשורת מהימנים אחרים כדי שיוכלו לסכם ולהציג רעיונות מדעיים ופתרונות לפתרון בעיות, ולתאר כיצד הם נתמכים בראיות. פיתוח הכתיבה המדעית של התלמידים, המשלבת בין היתר הצגה והפקת מידע מטבלאות, דיאגרמות ו/או תרשימים תואמים, כתיבת טיעונים, הסברים המבוססים על ראיות ועוד, יסייע בחיבור שבין הידע והמיומנות המדעיות ו/או הנדסיות אחרות.

תלמידים ותלמידות צריכים להיות צרכנים ביקורתיים של מידע במדע והנדסה, לצפות בדיווחים על פיתוח או יישום מדעי-טכנולוגי ולזהות את הרעיונות העיקריים, לזהות מקורות לטעויות ולפגמים מתודולוגיים ולהבדיל בין תצפיות לבין מסקנות, טיעונים מהסברים וטענות מראיות.

דוגמאות לפעולות

- לרכוש ולהטמיע מידע מספרים או מדיה מהימנה אחרת כדי להסביר תופעות או פתרונות לבעיית תכנון.
- להעביר מידע מדעי או טכני בעל פה או בכתב, לרבות בצורות שונות של מדיה, וכן טבלאות, דיאגרמות ותרשימים להערכת התקפות של רעיונות ושיטות.
- לקרוא באופן ביקורתי טקסטים מדעיים המותאמים לשימוש בכיתה כדי לקבוע את הרעיונות המרכזיים ולקבל מידע מדעי או טכני לתיאור דפוסים ועדויות על העולם הטבעי ופתרונות התכנון, ולהעריך את הדיוק של רעיונות ושיטות.
- לאסוף, לקרוא ולסנתז מידע ממספר מקורות מתאימים ולהעריך את האמינות, הדיוק וההטיה האפשרית של כל פרסום ושיטות הנמצאות בשימוש, ולתאר כיצד הם נתמכים או לא נתמכים בראיות.
- להעריך נתונים, השערות ומסקנות בטקסטים מדעיים וטכניים לאור מידע או מול מתחרים.
- להציג מידע מדעי או טכני (למשל, על אובייקט מוצע, כלי, תהליך או מערכת) בכתב או באמצעות מצגות בעל פה.