



מערכת טכנולוגית חדשנית ברמה עולמית - המוביל ההפוך

מפמ"ר מדע וטכנולוגיה: בילי פרידמן

כתיבה ופיתוח: ד"ר עירית חוף נהור, אופירה טייב, הדס כץ

קראו והאירו: ד"ר רויטל ויינשטוק, גלית ניב



הנחל שחזר לחיים בבצורת

עלמה, איתי, אריאל והוריהם טיילו בנחל צלמון. בדרך לנחל שמו הילדים לב שהשדות מסביב יבשים מאוד אך להפתעתם, כשהתקרבו אל ערוץ הנחל, הם שמעו וראו זרם מים חזק! "איך ייתכן שזורמים כל כך הרבה מים בנחל למרות שלא ירדו השנה גשמים?" התפלא אריאל. איתי השיב: "נכון. וגם כאשר טיילנו כאן בשנה שעברה הנחל היה יבש לחלוטין". אריאל הבחין בשלט שעליו נכתב: "נחל צלמון – ערוץ להזרמת מים לכנרת דרך המוביל ההפוך". אבא הסביר: "בעבר, במוביל הארצי, מים נשאבו מהכנרת והוזרמו לאזורים יבשים בדרום הארץ. כיום, בגלל מחסור בגשמים בצפון, נוצר צורך בפתרון חדש – 'המוביל ההפוך'. פרויקט טכנולוגי חדשני שבו נשאבים מים מלוחים, ובתהליך התפלה הופכים למים ראויים לשתייה, אשר מוזרמים לכנרת. כך מפלס הכנרת נשאר גבוה ויציב, והטבע וחיות הבר שסביבו מוגנים ומשגשגים".



משרד החינוך
מינהל חדשנות וטכנולוגיה
אגף א' STEM
הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה



תמונה מס. 2: מיקום הילדים בציר המוביל ההפוך

תמונה מס. 1: הילדים מתבוננים בשלט

צפו בסרטון של רשות המים ומקורות, המציג את המוביל ההפוך ממתקני ההתפלה הממוקמים לאורך חוף הים התיכון לכנרת. [באן](#)

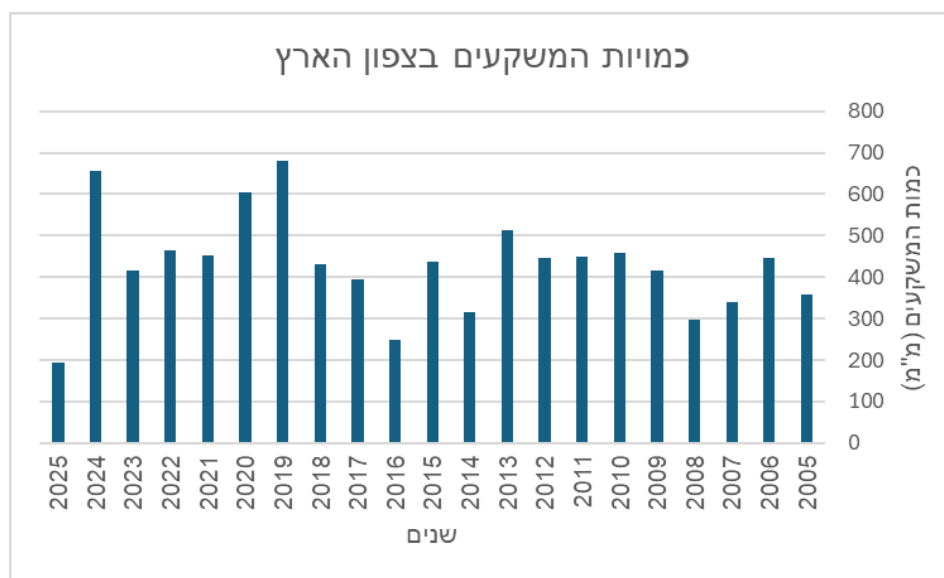


סרטון מס. 1: מיזם הולכה צפונה של המוביל למים מותפלים לכינרת במתקן הג'לשה (החלקה מטה) לנחל צלמון.



שאלה 1

המשקעים היורדים בצפון הארץ, גליל ובגולן, הם מקור המים העיקרי של אגם הכנרת, ומחסור בהם בשל שינויי האקלים משפיע ישירות על ירידת המפלס. הממוצע השנתי בצפון ובמרכז הוא 500–550 מ"מ גשם בשנה; שנה שבה כמות המשקעים נמוכה מהממוצע נקראת שנה **שְׁחוּכָה**, ושנה שבה הכמות גבוהה מהממוצע היא שנה **בְּרוּכָה**.



הביטו בגרף והשיבו על השאלות הבאות:

גרף מס. 1: כמויות המשקעים בצפון הארץ בשנים 2005 - 2025

סעיף א': איזו שנה הייתה ה**שְׁחוּכָה** (הִיבְשָׁה) ביותר? סמנו את התשובה הנכונה
שנת 2016, שנת 2019, שנת 2021, שנת 2025

סעיף ב': איזו שנה הייתה ה**בְּרוּכָה** (הִגְשִׁימָה ביותר) ביותר?
שנת 2016, שנת 2019, שנת 2021, שנת 2025



סעיף ג': בעקבות השנים השחונות (היבשות), נוצרו בעיות אותן ניתן לפתור על ידי פתרון טכנולוגי של המוביל ההפוך. מה הן הבעיות?

סמנו לצד המשפטים הבאים אילו משפטים מייצגים את הבעיות:

ירידה במפלס הכנרת עלולה לסכן את איכות מי השתייה הנשאבים מהאגם.	V
ירידה במפלס אגם הכנרת עלולה לסכן את הצמחייה ובעלי החיים בסביבותיה.	V
בשל הירידה בזרימת המים בנחלי הצפון לא ניתן יהיה לייצר חשמל להפקת אור ליישובי הצפון.	X
מחסור באספקה קבועה של מים לחקלאות בצפון הארץ, השקיית שדות ומטעים.	V
סיכון באובדן אגם הכנרת כמקור מי שתייה לדורות הבאים	V
פגיעה בתיירות ובפרנסה של מקצועות הקשורים בכנרת	V
ירידה במפלס הכנרת תגרום לעלייה של מים מלוחים באגם	V

סעיף ד': "על רקע הבעיות שנוצרו בשל מיעוט המשקעים בצפון והצורך להבטיח יציבות לכנרת ולמשק המים, נולד הפתרון הטכנולוגי של 'המוביל ההפוך' – להזרמת מים מותפלים לכנרת."

המוביל ההפוך היה מוכן להפעלה בשנת 2022, אך הופעל רק בשנת 2025. מדוע?

בססו את תשובתכם על סמך הגרף.

1. בשנים 2022–2024 היו כמויות משקעים נמוכות מהממוצע, ולכן לא היה צורך דחוף בהזרמה של מים מותפלים לכנרת.

2. בשנים 2022–2024 היו כמויות משקעים גבוהות מהממוצע, ולכן לא היה צורך דחוף בהזרמה של מים מותפלים לכנרת.

3. המהנדסים רצו לבדוק את המערכת במשך שלוש שנים נוספות.

4. בשנת 2025 עלה מחיר המים המותפלים, ולכן דחו את ההפעלה כדי לחסוך בעלויות.



שאלה 2

עלמה אריאל ואיתי קראו בשלט את הפסקה הבאה, אך מספר מילים נמחקו. עזרו לשלישייה להשלים את המידע מתוך מחסן המילים. שימו לב - עליכם לבחור **רק את 5 המילים** המתאימות ממחסן המילים. **כותרת:** המוביל ההפוך - חדשנות טכנולוגית ייחודית לישראל המקדימה את כל מדינות העולם.

בעקבות מיעוט גשמים ושנות בצורת, נוצרה _____ של ירידה חדה במפלס המים באגם הכנרת, באופן שעלול לפגוע באיכות המים. בשל כך, נוצר בישראל _____ לשמור על מפלס המים באגם. המהנדסים תכננו _____ טכנולוגי חדשני המבוסס על תהליך ה _____, שבמהלכו מוציאים את המלחים ממי הים התיכון ומפיקים מים הראויים לשתייה. הפרויקט נדרש לעמוד בדרישות סביבתיות קפדניות כדי להגן על הנחלים והטבע. במסגרת פרויקט "המוביל ההפוך", המים המותפלים מוזרמים ממתקני ההתפלה שלאורך החוף מזרחה, דרך _____ פלדה ענק אל נחל צלמון, ומשם נשפכים לכנרת כדי לשמור עליה כמקור מים יציב לדורות הבאים.

מחסן מילים לתלמידים: צורך | בעיה | פתרון | התפלה | צינור | זיקוק | השקייה



תמונה מס. 3: מיקום הילדים בציר המוביל ההפוך



שאלה 3 - צינור סגור או נחל פתוח? - ההתלבטות של המהנדסים

הילדים פגשו את עטרה, מהנדסת בצוות שתכנן את המוביל ההפוך. עטרה שיתפה בהתלבטות שליוותה את צוות המהנדסים לפני תחילת הפרויקט:

כיצד להוביל את המים במקטע האחרון, שעובר דרך נחל צלמון, אל הכנרת?

כדי לבחור את הפתרון הטכנולוגי המתאים ביותר, המהנדסים בחנו שני רעיונות:

- **רעיון 1: הזרמה בצינור סגור** ישירות ממתקני ההתפלה.
- **רעיון 2: הזרמה בערוץ נחל פתוח (נחל צלמון)** – נחל טבעי שהתייבש בשנים האחרונות.

המהנדסת הסבירה שכדי לקבל החלטה, הצוות הגדיר **דרישות מהפתרון**:

דרישות הכרחיות: דרישות שחייבים לקיים, על מנת שהפתרון יתקבל.

דרישות רצויות: דרישות שרצוי להתחשב בהן, אך הפתרון יכול לפעול גם בלעדיהן.

סעיף א': גררו את הקריטריונים שלפניכם בהתאם להגדרה המתאימה - דרישות הכרחיות או דרישות

רצויות.

שיקום אקולוגי, שמירה על איכות המים, דרישות שחייבים לקיים, מניעת אובדן מים, הפתרון יכול לפעול גם בלעדיהן, פיתוח תיירותי.

דרישות הכרחיות:	דרישות רצויות:

סעיף ב': לפניכם חמישה שיקולים ודרישות שצוות המהנדסים לקחו בחשבון. מתחו קו מכל דרישה אל הרעיון המתאים לו:

מניעת אידוי של מים יקרים לאוויר	רעיון 1: הזרמה בצינור סגור רעיון 2: הזרמה בערוץ נחל פתוח (נחל צלמון)
הגנה מלאה על המים מפני זיהום חיצוני במהלך הדרך	
שיקום הצמחים ובעלי החיים בבית הגידול של הנחל	
חידוש זרימת המים הטבעית בנחל לאורך כל עונות השנה	
יצירת פינת טבע ירוקה, מוצלת ומסלול פתוח לציבור	



סעיף ג': לפי הדרישות ההכרחיות (שמירה על איכות המים ומניעת אובדן מים ע"י אידיוי), הפתרון המועדף היה להוביל את המים בתוך צינור סגור לאורך כל הדרך עד לכנרת. למרות זאת, במקטע האחרון הוחלט להזרים את המים באופן פתוח בתוך ערוץ נחל צלמון, שהפך בשנים האחרונות לנחל אכזב (יבש).

אילו שני משפטים יכולים להסביר את ההחלטה לבחור ברעיון של הזרמת המים המותפלים לכנרת דרך הנחל הפתוח?

- החייאת הנחל ושיקום אקולוגי ותיירותי, גם אם מפסידים מעט מים באידיוי.
- הזרמה בצינור סגור הייתה יקרה מדי, ולכן המהנדסים נאלצו לוותר על המקטע האחרון של הצינור.
- המהנדסים גילו טעות בתכנון ולא הצליחו להניח את הצינור במקטע האחרון.
- המים זורמים בערוץ נחל פתוח במהירות גבוהה יותר מאשר בתוך צינור סגור.

שאלה 4

המוביל ההפוך ומתקני ההתפלה הם **מערכת טכנולוגית** המורכבת מרכיבים רבים הפועלים בתיאום כדי להשיג **מטרה**: אספקת מים יציבה לאגם הכנרת.





תמונה מס. 4: ניתוח מבנה ופעולה של המערכת הטכנולוגית של המוביל ההפוך

השלימו את רכיבי מערכת המוביל ההפוך (קלט- תהליך - פלט) (בעזרת מחסן המילים:

1. קלט (כניסה)

קלט חומרים: _____

קלט אנרגיה: _____

2. תהליך - פעולת המערכת

מתקני ההתפלה: _____

הובלת המים: _____

3. פלט (תוצרי המערכת)

תוצר רצוי: _____

תוצר בלתי רצוי: _____

מחסן מילים:

- אנרגיה חשמלית (להפעלת המשאבות והמתקנים)
- שאיבה והזרמה של המים מזרחה בצינורות ובאפיק נחל צלמון אל הכנרת
- מי ים מלוחים (מהים התיכון)
- מים שפירים (ראויים לשתייה) המגיעים לכנרת
- הוצאת המלחים והפרדתם מהמים (התפלה)
- תמיסת מלח מרוכזת (רכז מלחים המוחזר לים)



שאלה 5 -

המהנדסת עטרה שיתפה את הילדים שעל מנת לבצע בקרה ולוודא שהתקבלו מים ראויים לשתיה, צוות מהנדסים מודד את המוליכות החשמלית של המים: "ככל שיש במים יותר מלחים, המוליכות החשמלית שלהם גבוהה יותר".

סעיף א': כיצד השוואה בין המוליכות החשמלית בקלט (המים הנכנסים למתקן ההתפלה) לבין המוליכות בקלט (המים היוצאים) עוזרת למהנדסים לבדוק אם תהליך ההתפלה הצליח והמים אכן ראויים לשתיה?

- א. אם המוליכות בקלט ובפלט זהה – מנגנון הבקרה מראה שהמערכת הטכנולוגית פועלת ברציפות.
- ב. אם המוליכות בפלט גבוהה בהרבה מהמוליכות בקלט – תהליך הסינון הושלם והמים ראויים לשתיה.
- ג. אם המוליכות בפלט נמוכה בהרבה מהמוליכות בקלט – רוב המלחים הוצאו ותהליך ההתפלה הצליח.
- ד. אם המוליכות בפלט נמוכה – הופרדו הלכלוך והחול בתהליך, אך המלחים נשארו במים.

כחלק מתהליך הבקרה במערכת הטכנולוגית, המהנדסים מבצעים בדיקות ומדידות חוזרות ונשנות של המים בקלט (ביציאה ממתקן ההתפלה), לפני הזרמתם לנחל צלמון ולכנרת.

סעיף ב': מדוע חיוני לבצע בדיקות רבות ולא להסתפק בבדיקות ספורות בלבד?

- א. מכיוון שבמערכת טכנולוגית לא ניתן לבצע מדידה מדויקת של איכות המים.
- ב. כדי לוודא שקצב הזרמת המים בצינורות ובאפיק נחל צלמון נשאר אחיד ומהיר.
- ג. כדי שפעולת הבדיקה עצמה תעזור לסנן מלחים נוספים ותשפר את תהליך ההתפלה.
- ד. כדי לצמצם שגיאות ותוצאות חריגות, ולהבטיח מהימנות ודיוק של הנתונים לגבי איכות המים.

סעיף ג': ייצוג הנתונים של מליחות המים ידע אפיסטמי

כחלק מתהליך הבקרה במערכת הטכנולוגית, המהנדסים מדדו את רמת המליחות בקלט (מי הים הנכנסים) ובפלט (המים המותפלים היוצאים) בתחילת חודש מאי. כדי לנתח את נתוני המדידה ולהשוות בצורה ברורה בין שני המצבים, עליהם לבחור בייצוג חזותי (גרפי) מתאים.

איזה סוג של ייצוג גרפי הוא המתאים ביותר להשוואה בין רמת המליחות בקלט לרמת המליחות בפלט?

- א. גרף עמודות
- ב. ציר זמן
- ג. תרשים עוגה (פאי)
- ד. תרשים זרימה



סעיף ד': המהנדסת עטרה פתחה את מחשב הנייד שלה והראתה לילדים את מסך המעקב

של המערכת. במסגרת **תהליך הבקרה**, צוות המהנדסים מדדו את המוליכות החשמלית של המים ב**קֶלֶט** (מי הים הנכנסים) וב**פֶּלֶט** (המים המותפלים היוצאים) בשלוש נקודות זמן שונות בתחילת חודש מאי.

על מסך המחשב של עטרה הופיעה הטבלה הבאה, המציגה את **מדדי המוליכות החשמלית**:

מספר דגימה	תאריך ושעה	מוליכות חשמלית (מי ים נכנסים) בֶּקֶלֶט	מוליכות חשמלית (מים מותפלים יוצאים) פֶּלֶט
דגימה 1	1 במאי, 08:00	50,000	250
דגימה 2	2 במאי, 08:00	51,200	240
דגימה 3	3 במאי, 08:00	49,800	260

איזו מסקנה היא הנכונה ביותר לגבי תפקוד המערכת הטכנולוגית על בסיס הנתונים המוצגים בטבלה?

- א. **תהליך** ההתפלה אינו יציב, מכיוון שאיכות המים ב**קֶלֶט** משתנה מעט מדגימה לדגימה.
- ב. **המערכת הטכנולוגית** נכשלה בתפקידה, מכיוון שערכי המוליכות ב**קֶלֶט** וב**פֶּלֶט** אינם זהים.
- ג. **מנגנון הבקרה** של המערכת אינו תקין, מכיוון שלא בוצעו בדיקות מים בתוך אפיק נחל צלמון.
- ד. **תהליך** ההתפלה הצליח, מכיוון שהמוליכות ב**פֶּלֶט** נמוכה משמעותית מהמוליכות ב**קֶלֶט** בכל הדגימות.

שאלה 6 טכנולוגיה מול אחריות אישית

בדרך הביתה, עלמה, איתי ואריאל שוחחו על פרויקט "המוביל ההפוך" ומתקני ההתפלה בישראל.

- **אריאל אמר:** "איזה מזל שפיתחו בישראל את הפתרון הטכנולוגי של מתקני ההתפלה! עכשיו, כשגילינו שאפשר לייצר מים מהים ושהמערכת הטכנולוגית פותרת את הבעיה של מחסור במשקעים בארץ, אנחנו כבר לא צריכים להתאמץ ולחסוך במים בבית. אפשר להתקלח כמה זמן שרוצים ולהשקות את הגינה בלי הגבלה."
- **עלמה ואיתי חשבו אחרת ואמרו:** "זה נכון שהטכנולוגיה עוזרת לנו, אבל לכל פתרון יש גם מחיר כלכלי וסביבתי. חוץ מזה, מים הם משאב טבע יקר ערך – ומהיותם כאלה, מוטלת עלינו אחריות ערכית לשמור עליהם ולא לבזבז אותם. החיסכון במים הוא עדיין החובה של כולנו."

השאלה: יש הטוענים שבגלל שישראל היא 'מעצמת התפלה', כבר לא צריך לדאוג לחיסכון במים בבית. האם אתם מסכימים עם טענה זו? **נמקו את תשובתכם**, תוך התייחסות למשאבים הנדרשים להפעלת המערכת הטכנולוגית או למחיר הסביבתי והכלכלי של תהליך ההתפלה.