

פעילות STEM וחקר מדעי בנושא עולם המים

בורג ארכימדס Archimedes Screw

מפמ"ר: בילי פרידמן
פיתוח: ד"ר עירית חוף נהור
ייעוץ פדגוגי: גלית ניב

העלאת מים - משימה לאומית

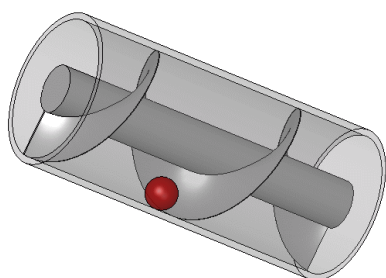
כאשר אנו פותחים ברז בביתנו ומים נקיים וצלולים זורמים ממנו בשפע, רבים מאיתנו לא עוצרים לחשוב על המורכבות והמאמץ העצום שנדרש להישג זה. העובדה שבישראל ניתן לפתוח ברז בכל מקום ולקבל מים ראויים לשתייה אינה כלל מובנת מאליה - זהו פרי של תכנון מתוחכם, השקעת משאבים עצומה, ומאמץ לאומי עליו אמונה רשות המים.

הטכנולוגיה של הובלת והעלאת המים בישראל היא משימה לאומית חיונית המאפשרת חיים. ישראל מאופיינת בשטח מורכב מבחינה טופוגרפית, עם הפרשי גבהים משמעותיים בין אזורים שונים. מקורות המים הטבעיים - כמו הכינרת, האקוויפרים החופיים והאקוויפר ההררי - נמצאים לרוב במקומות נמוכים יותר או רחוקים מאזורי הצריכה העיקריים. ערים ויישובים רבים שוכנים באזורים הרריים גבוהים. היכולת להוביל ולהעלות מים ממקום למקום אפשרה לשטחים נרחבים במדינה להיות ראויים למגורים, לפיתוח של החקלאות באופן דרמטי, ולשגשוג של התפתחות כלכלית וחברתית.

רשות המים בישראל נחשבת למובילה עולמית בתחום ניהול משאבי מים וטכנולוגיות חדשניות, במיוחד בתחומים כמו התפלה, טיהור שפכים וניצול מי תהום, ומובילה את המעמד הבינלאומי של ישראל בתחום המים, מה שמחזק את החקלאות והתעשייה הישראלית למרות המחסור במקורות מים טבעיים.

בורג ארכימדס - האם אי פעם תהיתם איך אפשר להעלות מים במעלה גבעה?

בורג ארכימדס (Archimedes Screw) הוא מכונה שהומצאה בשנת 234 לפני הספירה, המיוחסת למתמטיקאי ולממציא ארכימדס. בורג ארכימדס שימש בעולם העתיק כדי להעלות מים מאגמים ונהרות, לריקון ספינות ממים, להשקיית שדות או להעביר מים לשתייה והיא נמצאת בשימוש עד היום.



מקור: Silberwolf, CC BY-SA 2.5

צורת המשאבה הקדומה הזו היא של מעין בורג גדול. אל הבורג מחוברות כפות או תחתיות שקועות שמאפשרות למים להיקוות בו (להצטבר), עד שהסיבוב של הבורג יעלה אותם למעלה. לעיתים המבנה אפילו לא צריך להיות שקוע, אלא מספיק שהבורג יהיה צמוד לדופן, כדי שהמים יילכדו בו. מקור: [אאוריקה](#)

חקר מדעי בעזרת בורג ארכימדס - I

שלב I – בנייה והפעלה של המכונה העתיקה 'בורג ארכימדס'

ציוד:

גליל - צינור PVC או כל גליל קשיח (Pipe) בקוטר 5 ס"מ	מיכל עם מים	צינור פלסטיק שקוף וגמיש (Tube)
גליל - צינור PVC או כל גליל קשיח (Pipe) בקוטר 10 ס"מ	מיכל ריק עם סימון מדידה	חפץ להגבהה (כמו קופסה או ספרים)
סרט דבק חזק (Duct tape)	צבע מאכל (מומלץ)	מספריים
נייר סופג	סרגל	מטר

הנחיות:

שלבי הבנייה



- הדביקו את קצהו האחד של צינור הפלסטיק השקוף לקצה הגליל בעזרת סרט הדבק.
- ודאו שקצה הצינור בולט מעט מעבר לקצה הגליל לפפו את הצינור השקוף מסביב לגליל בצורת ספירלה (בורג) שמרו על רווחים שווים בין הליפופים
- הקפידו שהצינור צמוד לגליל
- כשתגיעו לקצה השני, הצמידו גם אותו עם סרט דבק וחתכו את הצינור העודף
- הוסיפו צבע מאכל למיכל המים כדי שנוכל לעקוב אחר תנועת המים בצינור הפלסטיק.

הפעלת הבורג:



- הניחו את המיכל הריק על ההגבהה (הקופסה).
 - הכניסו את הקצה התחתון של הבורג בתוך מיכל המים המלא.
 - השתדלו להקפיד על זווית חדה, של 30 - 45 מעלות. כעת, סובבו את הבורג וצפו במים העולים בצינור שימו לב:
 - כיוון הסיבוב הוא קריטי: יש לסובב את הבורג כך שפתח הצינור יגרוף (יאסוף) מים בכל סיבוב. ודאו שפתח הצינור הוא זה הנכנס למים.
 - שילוב מים ואוויר: חשוב מאוד שבכל סיבוב הצינור יגרוף גם מים וגם אוויר לסירוגין. כלומר, הקפידו לא להטביע את הפתח לחלוטין. המים יעלו בצינור רק אם ישנן בועות אוויר המפרידות בין מנות המים. האוויר הכלוא הוא שדוחף את המים במעלה הצינור.
- מוזמנים לצפות בסרטון: [How to Make an Archimedes Screw - STEM Activity](#) מאת [Science Buddies](#), המדגים את שלבי הבנייה וההפעלה של הבורג.

חקר מדעי בעזרת בורג ארכימדס - II

שלב II – התנסות בשאלות חקר מדעי המתבססות על בורג ארכימדס

מתנסים:

בדקו עבור המערכת שבניתם:

- כמה סיבובים של הבורג נדרשים על מנת להעביר כמות של 100 מ"ל מים? _____
- מה הוא הגובה המקסימלי של המיכל המוגבה אליו ניתן להעלות 100 מ"ל מים? _____
- מה היא כמות המים שמועלה למיכל העליון ב 5 דקות? _____
- העלו שאלה נוספת שתוכלו למדוד בעזרת המערכת:

שאלות חקר:

1. שאלת החקר:

כמה מ"ל מים מועברים מהמכל התחתון המלא אל המיכל העליון הריק במשך דקה כאשר:

א. ישנם 5 ליפופים ספירליים של הצינור סביב הגליל

ב. ישנם 10 ליפופים ספירליים של הצינור סביב הגליל

גורם משפיע: _____

גורם מושפע: _____

השערה: _____

במהלך ביצוע המדידות חשוב להקפיד על בידוד משתנים (לשנות את הגורם המשפיע בלבד) ועל חזרתיות. על אלו גורמים צריך לשמור על מנת שיבודדו רק את הגורם המשפיע?

מדוע יש צורך בחזרות?

כעת בצעו את המדידות וסכמו בטבלה הבאה:

כמות מים (מ"ל) המועברת מהמיכל התחתון למיכל העליון במשך דקה		
10 ליפופים	5 ליפופים	
		בדיקה מס. 1
		בדיקה מס. 2
		בדיקה מס. 3
		ממוצע

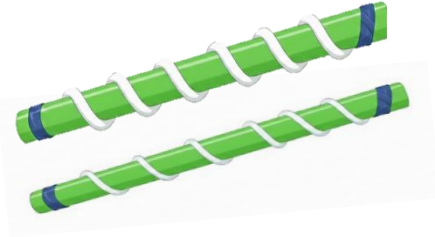
חקר מדעי בעזרת בורג ארכימדס - III

2. שאלת החקר:

כמה מ"ל מים מועברים מהמיכל התחתון המלא אל המיכל העליון הריק במשך דקה כאשר:

א. קוטר הגליל הינו 5 ס"מ

ב. קוטר הגליל הינו 10 ס"מ



גורם משפיע: _____

גורם מושפע: _____

השערה: _____

גם כאן, הקפידו על חזרתיות ועל בידוד המשתנים. על אילו גורמים קבועים יש לשמור בניסוי זה?

כעת בצעו את המדידות וסכמו בטבלה.

כמות מים (מ"ל) המועברת מהמיכל התחתון למיכל העליון במשך דקה		
קוטר הגליל 10 ס"מ	קוטר הגליל 5 ס"מ	
		בדיקה מס. 1
		בדיקה מס. 2
		בדיקה מס. 3
		ממוצע



3. כעת העלו שאלות חקר משלכם אשר ניתן לבדוק בעזרת המערכת שבניתם.

א. _____

ב. _____

ג. _____

התנסות בשאלות חקר מדעי עצמאיות - שלב IV

בחרו בשאלת חקר אחת ותכננו עבודה ניסוי:

א. מהו הציוד הנדרש לניסוי?

ב. גורם משפיע: _____ כיצד תמדדו את הגורם המשפיע?

ג. גורם מושפע: _____ כיצד תמדדו את הגורם המושפע?

זכרו להקפיד על בידוד משתנים ועל חזרתיות.

ד. השערה: _____

ה. כעת בצעו את המדידות וסכמו בטבלה.

הגורם המשפיע:	
	בדיקה מס. 1
	בדיקה מס. 2
	בדיקה מס. 3
	ממוצע

4. שערך: האם ניתן להעלות מים בבורג אנכי? _____

כעת השתמשו במערכת שבניתם על מנת להשיב על השאלה. האם התוצאה תמכה או הפריכה או ההשערה? _____

הידעתם? בעוד שבורג ארכימדס מוגבל בשיפוע שלו, המערכות של רשות המים משתמשות בטכנולוגיה מתקדמת המאפשרת להעלות מים גם בשיפועים תלולים ובמרחקים עצומים, כדי להבטיח שגם בערים גבוהות כמו ירושלים או צפת, המים יגיעו לכל ברז.



5. בורג ארכימדס הינה מכונה שהומצאה בשנת 234 לפני הספירה ושימשה בעולם

העתיק. חשבו - לאילו מטרות יכולה לשמשה המכונה בימינו?

חקר מדעי בעזרת בורג ארכימדס – V סימולציה



לפניכם סימולציה ייחודית אשר ניתן לבדוק בעזרתה שישה גורמים המשפיעים על קצב העברת המים מהמיכל התחתון המלא למיכל העליון.

לחצו על הקישור והפעילו את הסימולציה.



שנו בכל פעם את אחד מהגורמים המשפיעים ובדקו את קצב העברת המים.

כדי להגיע לקצב העברת מים אופטימלי בבורג ארכימדס, יש למצוא את "נקודת האיזון" בין המבנה הפיזי של המכונה לבין אופן ההפעלה שלה.

6. בדקו ומצאו – מה הוא שילוב הגורמים המשפיעים כך שקצב העברת המים יהיה האופטימלי?

הגורם המשפיע	הערך הנדרש להעברת מים אופטימלית
מהירות סיבוב (w)	
כמות ליפופים	
זווית נטיית הבורג	
קוטר גליל (ירוק)	
קוטר צינור (לבן)	
מקדם נצילות	

רשות המים ומשרד החינוך | מינהל חדשנות וטכנולוגיה. אגף א' STEM | הפיקוח על הוראת מדע וטכנולוגיה

מדע וטכנולוגיה - סימולציה של בורג ארכימדס

שנו את המשתנים וראו כיצד הם משפיעים על קצב העברת המים ממקום נמוך למקום גבוה

מהירות סיבוב (w): RPM

60

כמות ליפופים (P):

8

זווית נטייה (°):

30

קוטר גליל ירוק (D): ס"מ

30

קוטר צינור לבן (d): ס"מ

8

מקדם נצילות (η): %

5

איפוס
הפעל סימולציה

זמן שחלף: 0.0 ש"

מים שהועברו: 0.0 סמ"ק

בורג ארכימדס_חקר מדעי בגישת STEM_רשות המים ומשרד החינוך_כנס EducAltion 2026

למורים:

מחונן תשובה לשאלה מס. 1:

שאלת החקר: כמה מ"ל מים מועברים מהמיכל התחתון המלא אל המיכל העליון הריק במשך דקה כאשר ישנם 5 ליפופים ו- 10 ליפופים ספירליים של הצינור סביב הגליל בידוד משתנים: הקפידו לשמור על מהירות סיבוב (מספר סיבובים לדקה) זהה, ושיפוע הגליל זהה ככל הניתן.

מחונן תשובה לשאלה מס. 2:

שאלת החקר: כמה מ"ל מים מועברים מהמיכל התחתון המלא אל המיכל העליון הריק במשך דקה כאשר קוטר הגליל הינו 5 ס"מ ו- 10 ס"מ בידוד משתנים: יש לשמור על שיפוע הגליל ומהירות סיבוב זהים ככל הניתן ומספר ליפופים זהה של הצינור בעת המדידות.

מחונן תשובה לשאלה מס. 4:

לא ניתן להעלות מים בבורג אם הוא מוצב בצורה אנכית. היכולת להעלות מים תלויה בזווית הנטייה. הזווית של הבורג חייבת להיות קטנה מזווית הכריכות של הבורג עצמו.

1. מלכודות המים (ה"כיסים"): כדי שהמים יעלו, הם חייבים להילכד בתוך מעין "שקעים" או "כיסים" שנוצרים בין כריכות הבורג לבין הצינור העוטף אותו.
2. כוח הכבידה: כאשר הבורג נטוי (בזווית), כוח הכבידה מחזיק את המים בתחתית של כל "כיס". כשמסובבים את הבורג, ה"כיס" עצמו נע כלפי מעלה לאורך הציר, והמים נשארים בתוכו. אם נעמיד את הבורג במצב אנכי המים לא יוכלו "להילכד". כוח הכבידה ימשוך אותם ישר למטה דרך המרווחים, והם יישפכו בחזרה למיכל התחתון. לא תיווצר אותה "מדרגה" שמאפשרת למים לנוח עליה בזמן שהיא מטפסת.

מחונן תשובה לשאלה מס. 5:

מקדם נצילות (n) בבורג ארכימדס הוא המדד ליחס שבין כמות המים המועברת בפועל לבין הכמות התיאורטית המקסימלית שהבורג יכול היה לשאת לו היה אטום ומושלם. חשיבותו קריטית להערכת היעילות האנרגטית של המערכת, שכן הוא משקלל אובדני מים הנובעים מדליפות בין הבורג למעטפת ("זליגה לאחור"), חיכוך וחוסר דיוק בנטיית הזווית. הבנת המקדם מאפשרת למתכננים למקסם את קצב השאיבה תוך חיסכון באנרגיה והתאמת המערכת לתנאי השטח.

מקדם הנצילות (n)

- הנצילות מושפעת מהחיכוך וממידת הדיוק של המבנה. בבורג אידיאלי:
- מרווח אפסי בין הבורג לדפנות (מונע "בריחת" מים חזרה למטה).
 - חומרים חלקים המפחיתים חיכוך.

מורים יקרים, מורות יקרות,

נשמח לקבל תיעוד מהפעלת היחידה והסימולציה בביתה עם התלמידים 😊

מוזמנים בחום להפנות שאלות ולשלוח את החומרים לכתובת המייל: Irit.nahor@gmail.com 📧

בברכה,

ד"ר עירית חוף - נהור