

ד. כלים לטיפול בתוצאות מעבדה

1. טיטרציה לקביעת קשיות מים
2. טיטרציה לקביעת ריכוז יוני כלור במים
3. דפי עבודה למעבדה, ניסוי מספר 1
4. דוגמאות לדוחות תלמידים ניסויים 1-5 :
 - 0 [ניסוי 1](#) : טיטרציה לקביעת קשיות של מים
 - 0 [ניסוי 2](#) : קביעה וולומטרית של ריכוז יוני כלור במי שתייה
 - 0 [ניסוי 3](#) : קביעה ספקטרופוטומטרית של ריכוז יוני כלור במי שתייה
 - 0 [ניסוי 4](#) : ניסוי חקר : מצעי ספיחה
 - 0 [ניסוי 5](#) : ניסוי חקר : בקבוקים להטים
5. כלים לניתוח סטטיסטי של התוצאות

1. טיטרציה לקביעת קשיות מים

בטבלה הבאה מפורטים שלבי הניסוי השונים, ועבור כל שלב ושלב נתון: מה עושים, מהן התצפיות, מהן התוצאות והחישובים. כמו כן נרשמו הערות נוספות שעל המורה להכיר. זוהי הטיטרציה הראשונה שהתלמידים עושים ביחידה, לכן חשוב שהתלמידים יבינו את הרעיון שעומד מאחורי השיטה וגם את הטכניקה של ביצוע הטיטרציה.

טבלת עבודה (ביצוע הניסוי, איסוף תצפיות ותוצאות)

שלב הניסוי	מטרה	ביצוע (מה עושים)	תצפיות (מה רואים)	מדידות (תוצאות) של V של תמיסת EDTA (מ"ל)	פירושים, הערות, חישובים
1	הכנת דגימה של תמיסה סטנדרטית לבדיקה	מוחדים 25 מ"ל תמיסה סטנדרטית בריכוז 1000 מ"ג לליטר ומוסיפים 25 מ"ל מים מזוקקים	התמיסה חסרת צבע	קיבלנו 50 מ"ל של תמיסה CaCO_3	ב-1000 מ"ל 1000 מ"ג (נתון) תמיסה סטנדרטית CaCO_3 25 מ"ל 25 מ"ג 1 מ"ל 1 מ"ג
2		מטפטפים את האינדיקטור (3-4 טיפות) לתמיסה סטנדרטית	צבע התמיסה השתנה לאדום יין.		גוון זה מקורו בתצמיד שיוצרים יוני האינדיקטור השליליים עם יוני מגנזיום או סידן.
3	קביעת נפח של EDTA שדרוש לטיטור של התמיסה הסטנדרטית	טיטור באמצעות EDTA מטפטפים את ה-EDTA לתמיסה סטנדרטית של CaCO_3 בנפח של 50 מ"ל (עושים 2 חזרות נוספות)	הצבע אדום יין של התמיסה עם האינדיקטור הופך לכחול בעקבות הוספת האינדיקטור	$V1=24.8\text{ml}$ $V2=24.9\text{ml}$ $V3=24.85\text{ml}$ ממוצע: 24.85	הרגע שבו השתנה צבע התמיסה הוא הרגע שבו כל יוני הסידן שבתמיסה השתחררו מהאינדיקטור ונקשרו ל-EDTA, וכך כל האינדיקטור נשאר חופשי.
4	הכנת דגימה של תמיסת מי ברז	25 מ"ל של מי ברז מוחדים ומוסיפים 25 מ"ל של מים	התמיסה חסרת צבע		
5		מטפטפים את האינדיקטור (3-4 טיפות) לתמיסה סטנדרטית	צבע התמיסה השתנה לצבע אדום יין.		גוון זה מקורו בתצמיד שיוצרים יוני האינדיקטור השליליים עם יוני הסידן.
6	הכנת דגימה של תמיסת מים מינרלים	50 מ"ל של מים מינרלים	התמיסה חסרת צבע		
7		מטפטפים את האינדיקטור (3-4 טיפות) לתמיסה סטנדרטית	צבע התמיסה השתנה לצבע אדום יין.		גוון זה מקורו בתצמיד שיוצרים יוני האינדיקטור השליליים עם יוני הסידן.

2. טיטרציה לקביעת ריכוז יוני כלור במים

בניסוי זה מבצעים התלמידים טיטרציה שנייה. הפעם לקביעת ריכוז יוני כלומר במים. התלמידים כבר התנסו בשיטה הוולומטרית לקביעת ריכוז של מומס (קביעה של קשיות מים) ולכן מומלץ לאפשר לתלמידים עבודה יותר חופשית ופחות מונחית בניסוי זה.

בטבלה הבאה מפורטים שלבי הניסוי השונים, ועבור כל שלב ושלב נתון: מה עושים, מהן התצפיות, מהן התוצאות והחישובים. כמו כן נרשמו הערות נוספות שעל המורה להכיר.

טבלת עבודה (ביצוע הניסוי, איסוף תצפיות ותוצאות)

שלב הניסוי	מטרה	ביצוע	תצפיות	מדידות (תוצאות) (מ"ל)	פירושים, הערות, חישובים
1		ממלאים את הביורטה בתמיסת AgNO_3 .	התמיסה חסרת צבע		
2	הכנת דגימה של תמיסת מי ברז	ממלאים את בקבוק המדידה ב- 50 מ"ל דגימת מי ברז.	הדגימה חסרת צבע.		
3		מוסיפים 10 טיפות של אינדיקטור פלואורסצין.	הדגימה שינתה את צבעה לצהוב		
4		מוסיפים 1 מ"ל תמיסת דקסטריין.			
5	קביעת נפח של AgNO_3 שדרוש לטיטור של תמיסת מי הברז.	טיטור באמצעות AgNO_3 מטפטפים את ה- AgNO_3 לתמיסת מי ברז בנפח של 50 מ"ל (עושים 2 חזרות נוספות).	הצבע הצהוב של תמיסת מי הברז עם האינדיקטור הופך לורדרד בעקבות הוספת ה- AgNO_3 .	$V1 = 9.5$ $V2 = 9.1$ $V3 = 8.7$ ממוצע: 9.1	הרגע שבו השתנה צבע התמיסה הוא הרגע שבו כל יוני הכלור שבתמיסה הגיבו עם יוני Ag^+ ליצירת משקע, ועודף יוני Ag^+ הגיב עם הפלואורסצין ליצירת צבע ורדרד.
6	הכנת דגימה של תמיסת מי ברז מרחובות.	ממלאים את בקבוק המדידה ב- 50 מ"ל דגימת מי ברז מרחובות.	התמיסה חסרת צבע		
7	קביעת נפח של AgNO_3 שדרוש לטיטור של תמיסת מי הברז.	טיטור באמצעות AgNO_3 מטפטפים את ה- AgNO_3 לתמיסת מי ברז בנפח של 50 מ"ל (3 חזרות).	הצבע הצהוב של תמיסת מי הברז עם האינדיקטור הופך לורדרד בעקבות הוספת ה- AgNO_3 .	$V1 = 15.3$ $V2 = 15.7$ $V3 = 15.5$ ממוצע: 15.5	הרגע שבו השתנה צבע התמיסה הוא הרגע שבו כל יוני הכלור שבתמיסה הגיבו עם יוני Ag^+ ליצירת משקע, ועודף יוני Ag^+ הגיב עם הפלואורסצין ליצירת צבע ורדרד.
	הכנת דגימה של תמיסת מי ברז - גן יבנה.	ממלאים את בקבוק המדידה ב- 50 מ"ל דגימת מי ברז גן יבנה.	התמיסה חסרת צבע		
8	קביעת נפח של AgNO_3 שדרוש לטיטור של תמיסת מי הברז.	טיטור באמצעות AgNO_3 מטפטפים את ה- AgNO_3 לתמיסת מי ברז בנפח של 50 מ"ל (3 חזרות).	הצבע הצהוב של תמיסת מי הברז עם האינדיקטור הופך לורדרד בעקבות הוספת ה- AgNO_3 .	$V1 = 19.3$ $V2 = 19.0$ $V3 = 18.7$ ממוצע: 19.0	הרגע שבו השתנה צבע התמיסה הוא הרגע שבו כל יוני הכלור שבתמיסה הגיבו עם יוני Ag^+ ליצירת משקע, ועודף יוני Ag^+ הגיב עם הפלואורסצין ליצירת צבע ורדרד.

9	הכנת דגימה של תמיסת מים מינרלים סאן בנדטו.	ממלאים את בקבוק המדידה ב- 50 מ"ל דגימת מים מינרלים.	התמיסה חסרת צבע		
10	קביעת נפח של AgNO_3 שדרוש לטיטור של תמיסת מים מינרלים סאן בנדטו.	טיטור באמצעות AgNO_3 . מטפטפים את ה- AgNO_3 לתמיסת המים המינרלים בנפח של 50 מ"ל (3 חזרות)	הצבע הצהוב של תמיסת המים המינרלים עם האינדיקטור לא השתנה.	לא השתנה צבע התמיסה, אפילו בהוספת כמויות גדולות של תמיסת AgNO_3 .	ריכוז הכלור במים המינרלים מזערי, ולכן לא מתרחשת תגובה, והצבע לא השתנה.

3. דפי עבודה למעבדות

דפי המעבדה מאורגנים במדריך באופן שניתן להדפיס אותם לשימוש התלמידים!

דף עבודה לתלמיד

ניסוי 1: קביעת קשיות מי שתייה על ידי טיטרציה קומפלקסומטרית עם EDTA

רישום תוצאות

A. נפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 25 מ"ל של תמיסת סידן פחמתי בריכוז 1 מ"ג למ"ל:

1. ____ מ"ל

2. ____ מ"ל

3. ____ מ"ל

B. נפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 25 מ"ל דגימת מי ברז:

1. ____ מ"ל

2. ____ מ"ל

3. ____ מ"ל

עיבוד התוצאות

עבדו את הנתונים באופן הבא:

1. חשבו את הממוצע וסטיית התקן עבור נפחי מדידות חוזרות של אותה דגימה (השתמשו במחשבון האישי שלכם). אל תתייחסו לתוצאות של הטיטרציה הראשונה אם אתם יודעים שלא דייקתם בה. (אם אותה דגימה נבדקה על ידי תלמידים נוספים, השתמשו גם בתוצאות שלהם!)

עבור A (תמיסה סטנדרטית של סידן פחמתי):

ממוצע: ____ מ"ל

סטיית תקן: ____ מ"ל

עבור B (מי ברז): ממוצע: ____ מ"ל

סטיית תקן: ____ מ"ל

2. חשבו את נפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 1 מ"ג סידן פחמתי.

קיבלנו ש-: ____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 25 מ"ל סידן פחמתי בריכוז 1 מ"ג למ"ל.

$$\frac{\text{ml} \times 1\text{ml}}{25.0\text{ml}} = \text{____ ml ש- מכאן}$$

____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ל סידן פחמתי בריכוז 1 מ"ג למ"ל.

נעגל ____ מ"ל

____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי.

3. היעזרו בנתון שחישבתם בסעיף הקודם על מנת לחשב את קשיות המים הכוללת ביחידות של מ"ג סידן-פחמתי בליטר תמיסה ($\text{mg CaCO}_3/\text{Liter}$) עבור דגימת מי ברז. ידוע לנו ש - _____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי, אם השתמשנו ב- _____ מ"ל EDTA לטיטור 25 מ"ל מי ברז, הרי ש-25 מ"ל מי ברז מכילים:

_____ מ"ג סידן-פחמתי

לכן ריכוז הסידן-הפחמתי במי ברז שנמדד ביחידות של מ"ג לליטר הוא:

$$C = \frac{m}{V} = \frac{\text{mg}}{.025\text{liter}} = \frac{\text{mg}}{\text{liter}}$$

4. היעזרו בנתון שחישבתם בסעיף הקודם על מנת לחשב את קשיות המים הכוללת ביחידות של מ"ג סידן-פחמתי בליטר תמיסה ($\text{mg CaCO}_3/\text{Liter}$) עבור דגימת מים מינרלים. קיבלנו ש- : _____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 25 מ"ל סידן פחמתי בריכוז של 1 מ"ג למ"ל.

$$\frac{\text{ml} \times 1\text{ml}}{25.0\text{ml}} = \text{_____ ml ש-}$$

_____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ל סידן-פחמתי בריכוז של 1 מ"ג למ"ל.
נעגל _____ מ"ל

_____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי.

5. היעזרו בנתון שחישבתם בסעיף הקודם על מנת לחשב את קשיות המים הכוללת ביחידות של מ"ג סידן-פחמתי בליטר תמיסה ($\text{mg CaCO}_3/\text{Liter}$) עבור דגימת מי ברז. ידוע לנו ש- _____ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי. אם השתמשנו ב- _____ מ"ל EDTA לטיטור 50 מ"ל מים מינרלים, הרי ש-50 מ"ל מים מינרלים מכילים _____ מ"ג סידן-פחמתי.

6. לכן ריכוז הסידן הפחמתי במי ברז שנמדד ביחידות של מ"ג לליטר הוא:

$$C = \frac{m}{V} = \frac{\text{mg}}{.025\text{liter}} = \frac{\text{mg}}{\text{liter}}$$

7. מסרו למורה את תוצאות החישובים עבור מים מינרלים על מנת לקבל נתונים סטטיסטיים (ממוצע וסטיית תקן) ממדגם גדול יותר.

הממוצע הכיתתי שהתקבל הוא _____ מ"ג לליטר CaCO_3 .

8. התייחסו לתוצאותיכם עבור מים מינרלים משני היבטים: המהימנות והדיוק. השוו בין התוצאה שלכם לזו של המדגם הכולל של הכיתה.
 לדוגמה: אם תוצאת הקבוצה היא 150 ± 2 מ"ג לליטר CaCO_3 , והתוצאה שלי היא 145 ± 3 מ"ג לליטר CaCO_3 - תוצאה זו אינה מדויקת כי אין היא בתחום סטיית התקן, והיא פחות מהימנה מהתוצאה הקבוצתית כי סטיית התקן שלי גדולה יותר מזו של הקבוצה. אל תרגישו רע!! התוצאה הקבוצתית מהימנה יותר כיוון שהיא מכילה מספר גדול יותר של דגימות, זאת מטרת איסוף התוצאות.

9. כתבו מסקנותיכם לגבי הממצאים השונים שגיליתם במעבדה. האם הייתם ממליצים לתושבים ביישוב מגוריהם להתקין מסנני אבנית? האם תוצאות הבדיקות של מים מטוהרים מצביעות על סוג מסוים של מסנן כיעיל בסיון אבנית? ציינו על אילו ממצאים הנכם מבססים את קביעותיכם.

א. בספר הלימוד בעמוד 24, מופיעים נתונים לגבי ערכי קשיות מים שונים. כיצד הייתם מתארים את מידת הקשיות של המים שבדקתם?

ב. עבור מים מינרלים, ניתן לבצע חישוב על מנת להעריך טוב יותר את דיוק הבדיקה. יש שיטות שונות לדווח על ריכוזי יוני סידן ומגנזיום במים.

הקשיות הכוללת שחישבנו מדווחת ביחידות של מ"ג CaCO_3 בליטר תמיסה, אולם כוללת גם MgCO_3 . על גבי תוויות בקבוקי מים מינרליים מופיעים ריכוזי יוני סידן Ca^{2+} ויוני מגנזיום Mg^{2+} ביחידות של מ"ג לליטר.

ניתן להשוות ערכים אלו על ידי חישוב המולים של יונים אלו בשתי השיטות:

❖ מתוך נתוני הטיטריציה קיבלנו _____ מ"ג לליטר CaCO_3 שהם:

$$n = \frac{m}{Mw} = \frac{\text{gr}}{\text{gr / mole}} = \text{_____ mole CaCO}_3$$

כלומר, דגימת המים המינרלים מכילה סה"כ _____ מול יוני סידן

$\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ ויוני מגנזיום $\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$.

❖ להלן נתונים שלקוחים מתוך התווית (במעבדה נבדקו מי עדן):

ריכוז יוני הסידן: 26 מ"ג לליטר שהם: _____ מולר

ריכוז יוני מגנזיום: 18 מ"ג לליטר שהם: _____ מולר

כלומר, דגימת המים המינרלים מכילה סה"כ _____ מול

יוני סידן $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ ויוני מגנזיום $\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$.

השגיאה היחסית היא:

$$\frac{X100(\text{מס' מולי CaCO}_3 \text{ לפי טיטריציה}) - (\text{מס' מולי יוני Mg}^{2+} \text{ ו- Ca}^{2+})}{(\text{מס' מולי יוני Mg}^{2+} \text{ ו- Ca}^{2+})}$$

פתרון דף עבודה לתלמיד, הכולל חישובים לדוגמה עבור

דוח מס' 1: קביעת קשיות מי שתייה על ידי טיטרציה קומפלקסומטרית עם EDTA

רישום תוצאות

א. נפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 25 מ"ל של תמיסת סידן-פחמתי בריכוז 1 מ"ג למ"ל:

2. 24.80 מ"ל

3. 24.85 מ"ל

4. 24.90 מ"ל

ב. נפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 25 מ"ל דגימת מי ברז:

1. 12.0 מ"ל

2. 11.90 מ"ל

3. 11.95 מ"ל

עיבוד התוצאות

עבדו את הנתונים באופן הבא:

1. חשבו את הממוצע וסטיית התקן עבור נפחי מדידות חוזרות של אותה דגימה (השתמשו במחשבון האישי שלכם). אל תתייחסו לתוצאות של הטיטרציה הראשונה אם אתם יודעים שלא דייקתם בה. (אם אותה דגימה נבדקה על ידי תלמידים נוספים, השתמשו גם בתוצאות שלהם!)

עבור A (תמיסה סטנדרטית של סידן-פחמתי): ממוצע: 24.85 מ"ל

סטיית תקן: 0.05 מ"ל

עבור B (מי ברז): ממוצע: 11.95 מ"ל

סטיית תקן: 0.05 מ"ל

2. חשבו את נפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי.

קיבלנו ש-24.85 מ"ל EDTA דרושים לטיטור 25 מ"ל סידן-פחמתי בריכוז של 1 מ"ג למ"ל.

$$\text{מכאן ש-} 0.994 \text{ ml} = \frac{24.85 \text{ ml} \times 1 \text{ ml}}{25.0 \text{ ml}} \quad 0.994 \text{ מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ל סידן-}$$

פחמתי בריכוז של 1 מ"ג למ"ל.

מכיוון שיש לנו רק שתי ספרות מובהקות, נעגל ל-0.99 מ"ל EDTA הדרושים לטיטור 1 מ"ל סידן-פחמתי בריכוז של 1 מ"ג למ"ל.
במילים אחרות,
0.99 מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי.

3. היעזרו בנתון שחישבתם בסעיף הקודם על מנת לחשב את קשיות המים הכוללת ביחידות של מ"ג סידן-פחמתי בליטר תמיסה ($\text{mg CaCO}_3/\text{Liter}$) עבור דגימת מי ברז.
ידוע לנו ש-0.99 מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי. אם השתמשנו ב-11.95 מ"ל EDTA לטיטור 25 מ"ל מי ברז, הרי ש-25 מ"ל מי ברז מכילים:

$$\frac{11.95\text{ml} \times 1\text{mg}}{0.99\text{ml}} = 12.07\text{mg CaCO}_3$$

לכן ריכוז הסידן-הפחמתי במי ברז שנמדד ביחידות של מ"ג לליטר הוא:

$$C = \frac{m}{V} = \frac{12.07\text{mg}}{.025\text{liter}} = 482.83 \frac{\text{mg}}{\text{liter}}$$

4-6. היעזרו בנתון שחישבתם בסעיף הקודם על מנת לחשב את קשיות המים הכוללת ביחידות של מ"ג סידן-פחמתי בליטר תמיסה ($\text{mg CaCO}_3/\text{Liter}$) עבור דגימת מים מינרליים.
החישוב בסעיפים אלה נעשה כמו החישוב הקודם.

7. מסרו למורה את תוצאות החישובים עבור מים מינרליים על מנת לקבל נתונים סטטיסטיים (ממוצע וסטיית תקן) ממדגם גדול יותר.
נניח שהממוצע הכיתתי שהתקבל היה 150 ± 2 מ"ג לליטר CaCO_3 .

8. עבור מים מינרליים, התייחסו לתוצאותיכם משני היבטים: המהימנות והדיוק. השוו בין התוצאה שלכם לזו של המדגם הכולל של הכיתה.
לדוגמה: אם תוצאת הקבוצה היא 150 ± 2 מ"ג לליטר CaCO_3 , והתוצאה שלי היא 145 ± 3 מ"ג לליטר CaCO_3 - התוצאה שלי אינה מדויקת כי אין היא בתחום סטיית התקן, והיא פחות מהימנה מהתוצאה הקבוצתית, כי היא סטיית התקן שלי גדולה יותר מזו של הקבוצה.
אל תרגישו רע!! התוצאה הקבוצתית מהימנה יותר כיוון שהיא מכילה מספר גדול יותר של דגימות, זאת מטרת איסוף התוצאות.

9. כתבו מסקנותיכם לגבי הממצאים השונים שגיליתם במעבדה. האם הייתם ממליצים לתושבים ביישוב מגוריהם להתקין מסנני אבנית? האם תוצאות הבדיקות של מים מטוהרים מצביעות על סוג מסוים של מסנן כיעיל בסינון אבנית? ציינו על אילו ממצאים הנכם מבססים את קביעותיכם.
- א. בספר הלימוד בעמוד 24, מופיעים נתונים הבאים לגבי ערכי קשיות מים שונים, ניתן לראות שמי הברז שבדקנו קשים מאוד.

דרגת הקשיות	CaCO ₃ מ"ג / ליטר
רכים	קטן מ-75
מעט קשים	75-150
קשים	150-300
קשים מאוד	גדול מ-300

ניתן לראות שמי הברז שבדקנו קשים מאוד.

- ב. עבור מים מינרליים, ניתן לבצע חישוב מורכב על מנת להעריך טוב יותר את דיוק הבדיקה.
- יש שיטות שונות לדווח על ריכוזי יוני סידן ומגנזיום במים.
- הקשיות הכוללת שחישבנו מדווחת ביחידות של מ"ג CaCO₃ בליטר תמיסה, אולם כוללת גם MgCO₃.
- על גבי תוויות של בקבוקי מים מינרליים מופיעים ריכוזי יוני סידן $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ ויוני מגנזיום $\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$ ביחידות של מ"ג לליטר.
- ניתן להשוות ערכים אלו על ידי חישוב המולים של יונים אלו בשתי השיטות:
- ♦ מתוך נתוני הטיטרציה קיבלנו 150 ± 2 מ"ג לליטר CaCO₃ שהם:

$$n = \frac{m}{Mw} = \frac{150 \times 10^{-3} \text{ gr}}{100 \text{ gr / mole}} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ mole CaCO}_3$$

כלומר, דגימת המים המינרליים מכילה סה"כ 1.5×10^{-3} מול יוני סידן $\text{Ca}^{2+}_{(aq)}$ ויוני מגנזיום $\text{Mg}^{2+}_{(aq)}$.

- ♦ מתוך הנתונים על גבי התווית (במעבדה נבדקו מי עדן):

ריכוז יוני הסידן: 26 מ"ג לליטר שהם: 0.65×10^{-3} מולר

ריכוז יוני מגנזיום: 18 מ"ג לליטר שהם: 0.75×10^{-3} מולר

כלומר, דגימת המים המינרליים מכילה סה"כ

$$0.65 \times 10^{-3} + 0.75 \times 10^{-3} = 1.4 \times 10^{-3}$$

מולי יוני סידן $\text{Ca}^{2+}_{(\text{aq})}$ ויוני מגנזיום $\text{Mg}^{2+}_{(\text{aq})}$.

$$\frac{1.5 \times 10^{-3} - 1.4 \times 10^{-3}}{1.4 \times 10^{-3}} \times 100 = 7.14\% \text{ השגיאה היחסית היא:}$$

4. דוגמאות לדוחות תלמידים

בחרנו להציג מספר דו"חות מעבדה שכתבו התלמידים. הדו"חות המוצגים הינם ברמה גבוהה וקיבלו הערכה גבוהה על פי המחווה. להלן מוצגים דו"ח תלמידים עבור הניסויים 1-5.

דוגמאות לדו"חות תלמידים - ניסוי מספר 1

נושא: קביעת קשיות מי שתייה על ידי טיטרציה קומפלקס ומטרית עם EDTA.

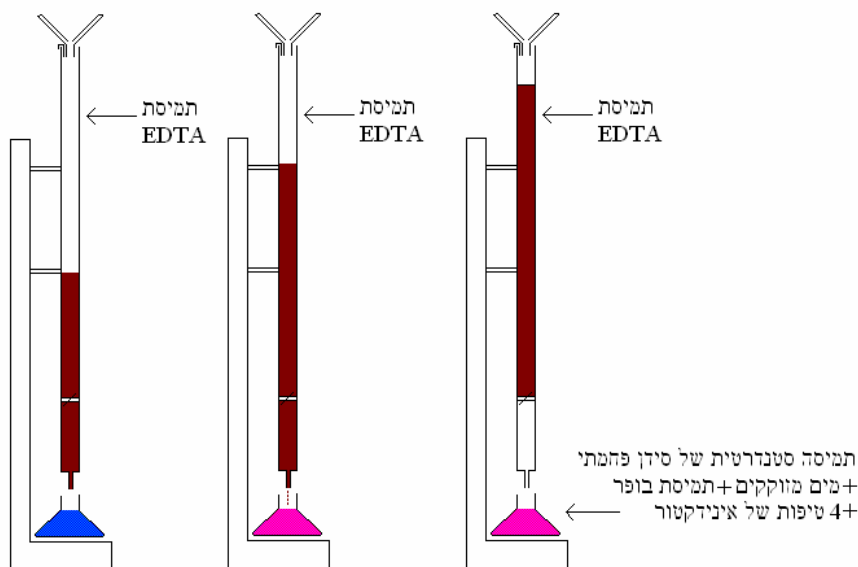
מטרה: לקבוע את קשיות מי השתייה ממקורות שונים. כלומר, לקבוע את ריכוז יוני הסידן והמגנזיום.

השערה: מי ברז באשדוד הם קשים יותר מאשר מים מינרליים.

ההסבר המדעי מסתמך על כך שמקורם של מי הברז באשדוד הוא מבארות. מי גשמים מגיעים לאדמה, מחלחלים בתוכה, ממיסים את החומרים היוניים הנמצאים בקרקע ואז היונים הממוימים מגיעים למי הבאר. חלק מהיונים הנמצאים בקרקע הם יוני מגנזיום וסידן. הסבר נוסף מדבר על כך שאשדוד קרובה מאוד לים התיכון, ולפיכך המלחים אשר נמצאים במי הים זורמים לתוך מי התהום ומביאים עמם יונים של סידן ושל מגנזיום. תופעה זו אינה מתרחשת במים מינרליים.

תיאור שיטת העבודה

EDTA הוא חומר שכאשר מוסיפים אותו לתמיסות של יוני מתכת חיוביים מסוימים, נוצר תצמיד מסיס. תוספת של אינדיקטור (למרות הסימון האדום, יש לכתוב אינדיקטור ללא א) לתמיסה מימית המכילה יוני סידן ומגנזיום, מקנה לתמיסה צבע אדום יין. גוון זה מקורו בתצמיד שיוצרים יוני האינדיקטור השליליים עם יוני מגנזיום או סידן. אם מוסיפים EDTA לתמיסה זו כחומר מטטר, יעברו יוני הסידן והמגנזיום צימוד עם ה-EDTA בהעדפה. לאחר שכל יוני הסידן והמגנזיום יוצמדו ל-EDTA, ישתנה צבע התמיסה מאדום יין לכחול. זהו צבעו של יון האינדיקטור החופשי שנותר בתמיסה, והוא מצביע על נקודת סיום הטיטרציה. ככל שתידרש כמות גדולה יותר של EDTA כדי לשנות את צבע התמיסה מאדום יין לכחול, כך נלמד שיש ריכוז גדול של סידן-פחמתי שאמור להיקשר ל-EDTA ולהשאיר את יון האינדיקטור חופשי.



רישום תוצאות

נפח EDTA הדרוש לטיטור של 25 מ"ל של תמיסות שונות

חזרה	תמיסת סידן פחמתי CaCO_3 1 מ"ג/מ"ל (מ"ל)	תמיסת מי ברז (מ"ל)	מים מינרליים (מ"ל)
1	24.8	5.5	12.2
2	24.85	5.3	12.3
3	24.9	5.7	12.5

עיבוד התוצאות

נחשב את מפח ה-EDTA הדרוש לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי.

קיבלנו ש-24.85 מ"ל EDTA דרושים לטיטור 25 מ"ל סידן-פחמתי בריכוז 1 מ"ג למ"ל.

$$\frac{24.85 \text{ ml} * 1 \text{ ml}}{25 \text{ ml}} = 0.994 \text{ ml}$$

מכאן ש-

0.994 מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ל סידן-פחמתי בריכוז של 1 מ"ג למ"ל נעגל ל-1 מ"ל.

1 מ"ל EDTA דרושים לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי.

נחשב את קשיות המים הכוללת עבור דגימת מי ברז.

ידוע לנו ש-1 מ"ל EDTA דרוש לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי. אם השתמשנו ב-5.5 מ"ל EDTA

לטיטור 25 מ"ל מי ברז, הרי ש-25 מ"ל מי ברז מכילים:

$$\frac{5.5 \text{ ml} * 1 \text{ mg}}{1 \text{ ml}} = 5.5 \text{ mg} \text{ סידן פחמתי}$$

לכן ריכוז הסידן-הפחמתי במי ברז שנמדד ביחידות של מ"ג לליטר הוא:

$$C = \frac{m}{V} = \frac{5.5 \text{ mg}}{0.025 \text{ liter}} = 220 \frac{\text{mg}}{\text{liter}}$$

נחשב את קשיות המים הכוללת עבור דגימת מים מינרליים.

ידוע לנו ש-1 מ"ל EDTA דרוש לטיטור 1 מ"ג סידן-פחמתי. אם השתמשנו ב-12.26 מ"ל EDTA

לטיטור 25 מ"ל מים מינרליים, הרי ש-25 מ"ל מים מינרליים מכילים:

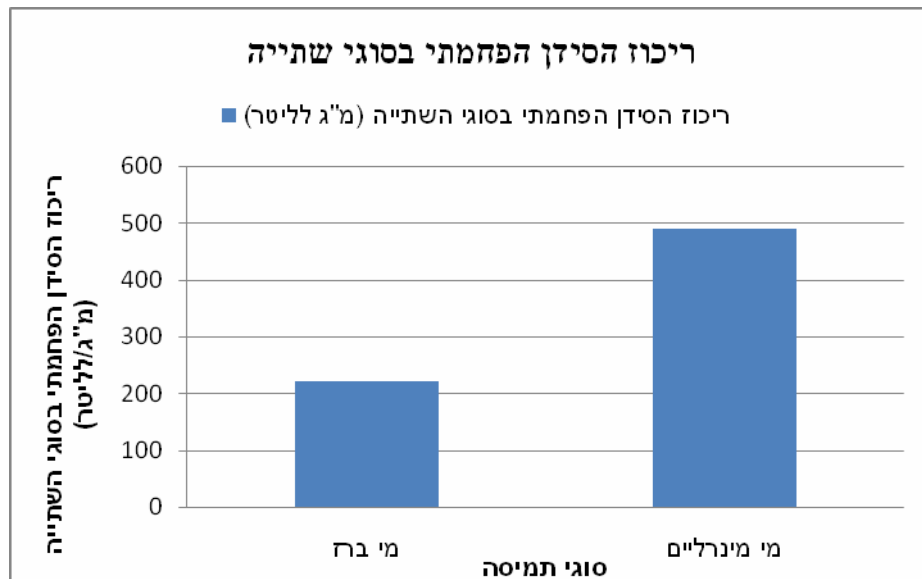
$$\frac{12.26 \text{ ml} * 1 \text{ mg}}{1 \text{ ml}} = 12.26 \text{ mg} \text{ סידן פחמתי}$$

לכן ריכוז הסידן הפחמתי במים מינרליים שנמדד ביחידות של מ"ג לליטר הוא:

$$C = \frac{m}{V} = \frac{12.26 \text{ mg}}{0.025 \text{ liter}} = 490.4 \frac{\text{mg}}{\text{liter}}$$

הצגת התוצאות

סוגי תמיסה	ריכוז הסידן-הפחמתי במי השתייה (מ"ג לליטר)
מי ברז	220
מי מינרליים	490.4



ניתוח התוצאות

תיאור התוצאות: לפי הגרף ניתן לראות כי הסידן-הפחמתי מופיע בכל אחת מהתמיסות, במי הברז ובמים המינרליים בריכוז שונה.

ריכוז הסידן-הפחמתי במים המינרליים הוא הרבה יותר גדול (490 מ"ג לליטר) מריכוז הסידן-הפחמתי במי הברז (220 מ"ג לליטר).

התייחסות להשערה: תוצאות הניסוי מפריכות את השערתנו, כיוון שדווקא המים המינרליים הם המים הקשים מאוד, ואילו מי הברז הם מים פחות קשים ממים מינרליים.

הסבר: מי גשמים מגיעים לאדמה, מחלחלים בתוכה, ממסים את החומרים היונים הנמצאים בקרקע, ואז היונים הממוימים מגיעים למים המינרליים. חלק מהיונים הנמצאים בקרקע הם יוני מגנזיום וסידן.

מסקנות

ניתן לקבוע את דרגת הקשיות של כל תמיסה על פי הטבלה הבאה:

CaCO ₃ (mg/liter)	דרגת קשיות
<75	רכים
150-75	קשים מעט
300-150	קשים
>300	קשים מאוד

ניתן לקבוע כי המים המינרליים שבדקנו הם בדרגת קשיות גבוהה מאוד (490.4 מ"ג/ליטר) - "קשים מאוד".

מי הברז שבדקנו הם "קשים" (220 מ"ג/ליטר).

לפי התקן הישראלי אין הגבלה של ריכוז מרבי של קשיות מי שתייה, וההסבר האפשרי לכך הוא שגובה הריכוז של קשיות המים אינו משפיע על בריאות האדם.

דיון מסכם

מגבלות הניסוי הן מקור לטעויות, כמודגם להלן:

1. ערכי ה-pH שבהם מבצעים את הטיטרציה מתאימים להיווצרות משקע של סידן-פחמתי, דבר הגורם לקבלת ערכי קשיות נמוכים מדי. על מנת להתגבר על הבעיה, נאלצנו לבצע את הטיטרציה בתוך פחות מ-5 דקות, מהלנו את הדגימה על מנת להקטין את ריכוז הסידן-הפחמתי, ולפני שהכנסנו את האינדיקטור, ערבבנו את הדגימה, וכך הקטנו את ריכוז דו-תחמוצת-הפחמן המצוי בדגימה.
2. היה קשה מאוד לדייק בכמות ה-EDTA שהוספנו לארלנמייר בטיטרציה, זאת בשל הקושי להגיע לכמות זהה של צבע בכל ארלנמייר. קבוצה אחת הגיעה לתמיסה כחלחלה, ואילו קבוצה אחרת הגיעה לכחול כהה.

הצעה נוספת לבדיקת ריכוז יוני הסידן והמגנזיום:

יוני האינדיקטור השליליים יוצרים תצמיד עם יוני המגנזיום או הסידן. דרך נוספת לקביעת קשיות המים היא הכנסת כמות מסוימת של אינדיקטור לתמיסה. כך ייווצרו תצמידים בין יוני הסידן או המגנזיום ליוני האינדיקטור השליליים, ויתקבל צבע אדום יין. ניתן לקרוא בספקטרופוטומטר את כמות התצמידים שנוצרו. ככל שהקריאה תהיה גדולה יותר, כך ריכוז יוני הסידן והמגנזיום גדול יותר ולהפך.

איננו ממליצים לתושבים ביישוב מגורינו להתקין מסנני אבנית, כיוון שריכוז הסידן במי הברז בבתים הוא נמוך יחסית בהשוואה למי מינרלים. על סמך הממצאים שלנו ועל סמך התקן הישראלי, אנו צרכני המים מבינים כעת, כי מן ההיבט של ריכוז הסידן-הפחמתי, עדיף לשתות מי ברז מאשר מים מינרליים.

דוגמאות לדו"חות תלמידים - ניסוי מס' 2

שמות חברי הקבוצה: (הורדו על מנת לשמור על פרטיות התלמידים)

נושא: קביעה וולומטרית של ריכוז יוני כלור במי שתייה (שיטת Fajans).

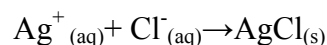
מטרה: לקבוע את ריכוז יוני הכלור במי שתייה ממקורות שונים.

השערה: השערתנו היא שריכוז יוני הכלור במי הברז הוא גדול יותר מאשר במים מינרליים.

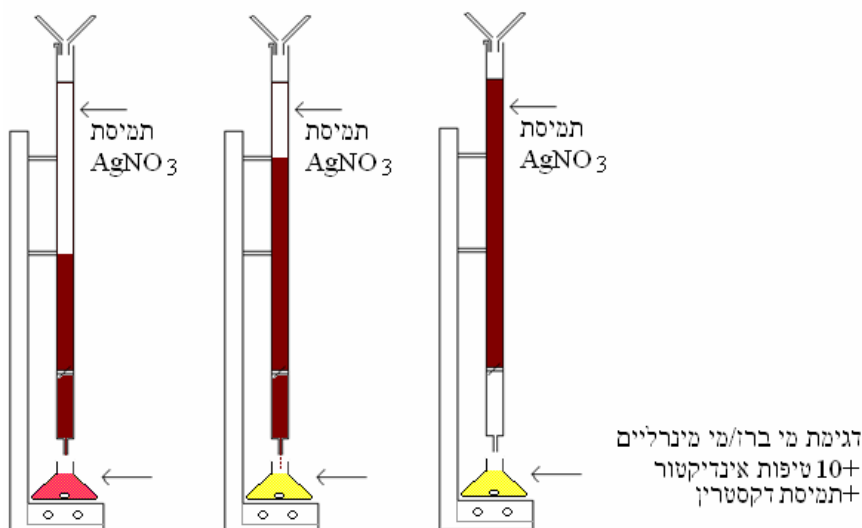
ההסבר המדעי לכך הוא שהכלור משמש כמרכיב חשוב בחיטוי מי השתייה. כל מי השתייה בישראל, בין שמקורם בכנרת, במוביל הארצי או בבארות מקומיים, מחויבים לעבור תהליך של חיטוי. בעקבות כך ריכוז הכלור במי הברז הוא גדול יותר בהשוואה למים מינרליים שאינם עוברים חיטוי באמצעות כלור.

אנו יודעים שריכוז יוני הכלור במי הברז שונה ממקום למקום בארץ, כיוון שסוגי הקרקע שבהם מחלחלים מי הגשם הם שונים, כלומר, בכל קרקע יש יונים שונים.

רקע מדעי: במי השתייה ישנם יוני כלור. כדי לדעת את ריכוזם, נטטר תמיסת כסף חנקתי. כאשר אנו מטטרים תמיסה זו למי השתייה, מתרחשת תגובת שיקוע.



אנו נכניס לתמיסה של מי השתייה לפני הטיטור אינדיקטור פלואורסצין אשר יגיב עם **עודף** יוני הכסף, כיוון שהתגובה ביניהם היא תגובה אטית מהתגובה עם יוני הכלור. לכן יהיה צבע התמיסה ההתחלתי צהבהב בגלל האינדיקטור, אבל לאחר שיהיו בתמיסה עודף יוני כסף, יתקבל צבע ורדרד שיהווה בעצם נקודת סיום לטיטרציה ויתאר את המצב שבו יוני הכסף הגיבו עם **כל** יוני הכלור.

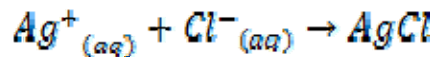


רישום תוצאות

נפח AgNO ₃ הדרוש לטיטור של 50 מ"ל תמיסות מימיות שונות (מ"ל)				
חזרות/ תמיסות מים	מי ברז אשדוד	מי ברז רחובות	מי ברז גן יבנה	מים מינרליים
1	10.5	15.5	19	0
2	9.3	15	19.6	0
3	9.5	17		0
ממוצע	9.7	15.8	19.3	0

תמיסות מים	ממוצע נפח AgNO ₃ הדרוש לטיטור של 50 מ"ל תמיסות מים שונות (מ"ל)	סטיית תקן (%)
מי ברז אשדוד	9.77	64%
מי ברז רחובות	15.83	104%
מי ברז גן יבנה	19.3	42%
מים מינרליים	0	0%

עיבוד התוצאות:



חזרות/תבחינים	נפח AgNO ₃ הדרוש לטיטור של 50 מ"ל מי ברז מאשדוד (ליטר)	ריכוז AgNO ₃ (M)	AgNO ₃ n (mol)	n (mol) Cl ⁻
1	0.0105	0.02	0.00021	0.00021
2	0.0093	0.02	0.000186	0.000186
3	0.0095	0.02	0.00019	0.00019
ממוצע	0.009766667	0.02	0.0001953	0.000195

חזרות/ תבחינים	נפח AgNO ₃ הדרוש לטיטור של 50 מ"ל מי ברז רחובות (ליטר)	ריכוז AgNO ₃ (M)	AgNO ₃ n (mol)	n (mol) Cl ⁻
1	0.0155	0.02	0.00031	0.00031
2	0.015	0.02	0.0003	0.0003
3	0.017	0.02	0.00034	0.00034
ממוצע	0.015833333	0.02	0.000316667	0.000317

חזרות/ תבחינים	נפח AgNO ₃ הדרוש לטיטור של 50 מ"ל מי ברז גן יבנה (ליטר)	ריכוז AgNO ₃ (M)	AgNO ₃ n (mol)	n (mol) Cl ⁻
1	0.019	0.02	0.00038	0.00038
2	0.0196	0.02	0.000392	0.000392
ממוצע	0.0193	0.02	0.000386	0.000386

* החישובים נעשו לפי הכלל שיחס המקדמים הוא כיחס המולים. כפי שאנחנו רואים בנוסחה למעלה, המקדם של AgNO₃ זהה למקדם של Cl⁻, ולכן מספר המולים שלהם זהה.

מספר המולים של Cl⁻ שואף לאפס.

$$[Cl^-] = n * mw * v \ 1000 /$$

ריכוז יוני Cl⁻ במי הברז מאשדוד :

$$[Cl^-] = 0.000195 * 35.5 * 1000 / 0.05 = 138.45 \text{ mg/liter (ppm)}$$

ריכוז יוני Cl⁻ במי הברז מרחובות :

$$[Cl^-] = 0.000317 * 35.5 * 1000 / 0.05 = 225.07 \text{ mg/liter (ppm)}$$

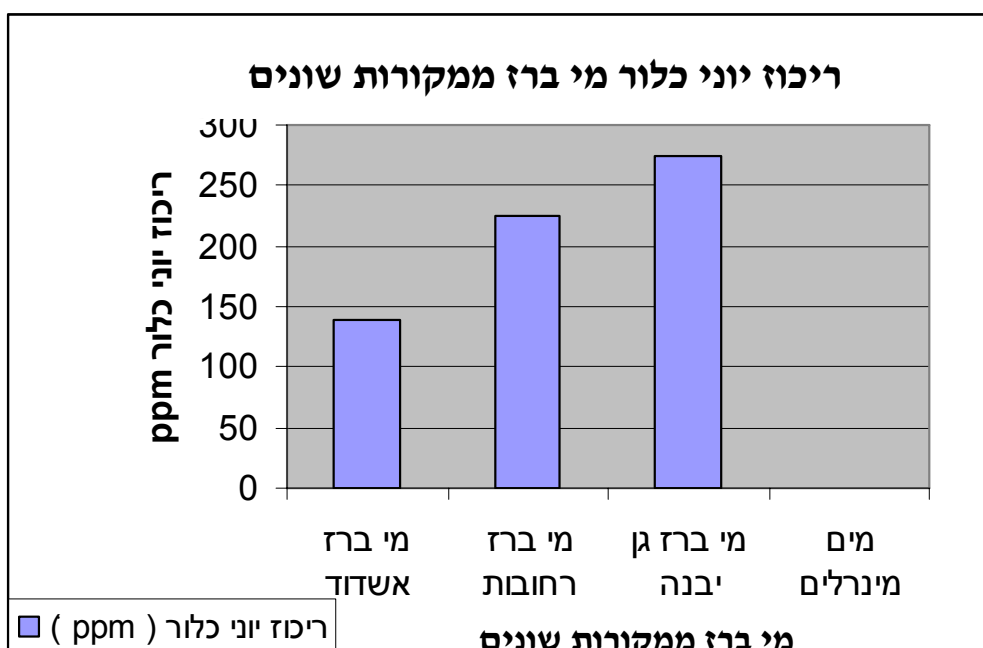
ריכוז יוני Cl⁻ במי הברז מגן יבנה :

$$[Cl^-] = 0.000386 * 35.5 * 1000 / 0.05 = 274 \text{ mg/liter (ppm)}$$

ריכוז יוני Cl⁻ מים מינרליים : שואף לאפס

הצגת התוצאות

ריכוז יוני כלור במי ברז ממקורות שונים ובמים מינרליים	
מקורות המים לבדיקה	ריכוז יוני כלור (ppm)
מי ברז אשדוד	138.45
מי ברז רחובות	225.07
מי ברז גן יבנה	274
מים מינרליים	0~



ניתוח תוצאות

ניתן לראות כי מי הברז בגן יבנה מכילים ריכוז יוני כלור גדול בהשוואה למי הברז ברחובות ובאשדוד. מבין תמיסות מי הברז ניתן לראות כי ריכוז יוני הכלור הנמוך ביותר הוא באשדוד.

אכן, הניסוי מאשש את השערתנו, שלפיה ריכוז יוני הכלור במי הברז הוא גבוה יותר מאשר במים מינרליים. ניתן לראות שמדובר בתוצאות מוצקות, כיוון שתוצאות דומות התקבלו גם על ידי קבוצות שונות שעשו את הניסוי באותם תנאים ובאותו הזמן.

תוצאות הכיתה

ריכוז יוני כלור במי ברז ממקורות שונים ובמים מינרליים				
ממוצע	קבוצה ג	קבוצה ב	קבוצה א	מקורות המים לבדיקה
137.54	135.46	140.3	136.87	מי ברז אשדוד
220.64	230.35	210.9	220.67	מי ברז רחובות
273.2	272.54	270.67	276.4	מי ברז גן יבנה
0~	0~	0~	0~	מים מינרליים

מסקנות

התייחסות לתקן הישראלי: המים שאנו שותים עומדים בתקן הישראלי. כיוון שריכוז המרכיב של יוני הכלור המותרים הוא 600 מ"ג לליטר, כל מי השתייה שבדקנו עמדו בתקן.

בנוסף מצאנו כי הריכוז המרכיב של יוני הכלור הרצויים הוא 250 מ"ג לליטר. מהתוצאות שלנו ניתן להסיק כי מי הברז מאשדוד ומי הברז מרחובות עומדים בתקן הישראלי ואף נמצאים מתחת לריכוז יוני הכלור המרכיב הרצוי במי השתייה. מכאן אנו למדים שמי הברז באשדוד וברחובות הם טובים מהבחינה הזו.

דיון מסכם

תשובות לשאלות של הניסוי

1. לא ייתכן שיהיו בתמיסה יוני כלוריד בלבד. התמיסה כוללת יוני סידן, מגנזיום, נתרן וכו'.
6. התוצאות שקיבלנו הן מהימנות למדיי, כיוון שריכוז הכלור שקיבלנו במים מינרליים הוא מזערי ביותר, ועל תווית הבקבוק רשום כי ריכוז יוני הכלור הוא 2.6 מ"ג/ליטר. למרות זאת אנו חושבים כי השיטה שבדקנו באמצעותה (טיטור) אינה מדויקת, ויש להשתמש בשיטות אחרות כגון ספקטרופוטומטר שמודד ריכוזים קטנים של חומרים.
9. התוצאות אינן מהוות בסיס לקביעת עמדה בנושא איכות המים, כיוון שהשיטה שהשתמשנו בה אינה מדויקת ואינה מודדת ריכוזים נמוכים של כלור.

מקורות לטעויות אפשריות

- א. התמיסות המימיות שבהן אנו עוסקים עשויות להכיל יונים נוספים העלולים לצרוך יוני כסף.
- ב. תגובת האינדיקטור מתרחשת על שטח הפנים של המשקע שנוצר. נוכחות של יונים בריכוז גבוה גורמת למשקע להיווצר בגושים גדולים, דבר המקטין את שטח הפנים. במצב כזה קשה מאוד לזהות את תגובת הצבע המצביעה על נקודת הסיום. כדי להתגבר על תופעה זו, מוסיפים לתמיסת הדגימה עמילן שמסייע במניעת התגבשות גושי משקע גדולים.
- ג. האינדיקטור בסיסי מעט ומגיב עם יוני הידרוניום בתמיסה חומצית. תגובה צדדית זו צורכת חלק מהאינדיקטור, כך שרק חלקו זמין לתגובת הצבע.
- ד. תגובת הצבע של האינדיקטור קלה ביותר לזיהוי כאשר התמיסה צלולה וחסרת צבע יחסית. לכן רצוי לעבוד עם תמיסות בריכוז נמוך יחסית, ולהימנע משימוש יתר באינדיקטור שצבעו חזק.
- ה. בכל אחת מהמבחנות קשה מאוד להגיע לגוון זהה של צבע לאחר שטיטרנו.

הצעה רלוונטית לפעילות נוספת

לניסוי זה אין לנו פעילות.

דוגמאות לדו"חות תלמידים - מעבדה מספר 3

נושא: קביעה ספקטרופוטומטרית של ריכוז יוני כלור במי שתייה.

מטרת הניסוי: לקבוע את ריכוז יוני כלור בדגימות המים על ידי ספקטרופוטומטר.

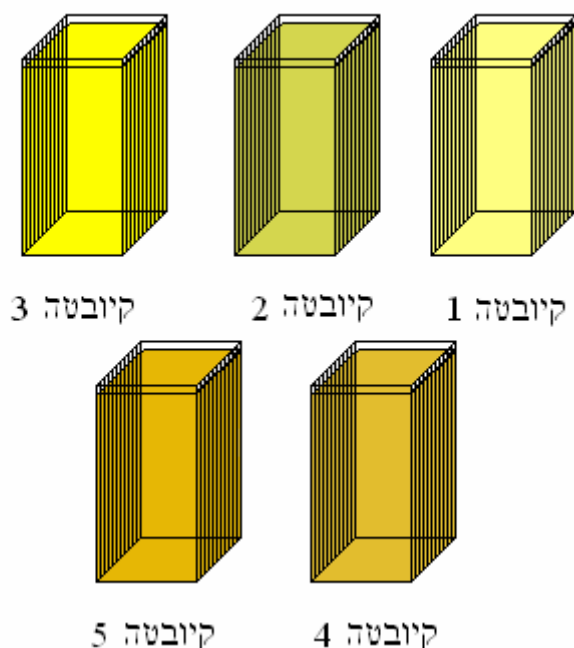
השערה: השערתנו היא שבמי ברז יהיה ריכוז יוני הכלור הגובה ביותר, ושבמים מינרליים יהיה ריכוז יוני הכלור נמוך.

בסיס מדעי להשערה

ישנם 3 מקורות ליוני כלור במי שתייה:

המסת סלעים במהלך החלחול - הסלעים באשדוד הם סלעי חול. סלעי חול מכילים מינרלים שונים, ביניהם נתרן, כלור וסידן-פחמתי. כאשר מי גשם מחלחלים לתוך הסלעים האלו, הם ממסים את המינרלים שבהם, ומעלה מכילים מי הגשמים את המינרלים הללו. קרבה למי ים - באזורים הפנימיים של אגן החוף השאיבה המהווה כ-95% מסך כל השאיבה באגן, יוצרת שקעים הידרולוגיים, המשנים את כיוון הזרימה הטבעית באקוויפר; תופעה המונעת זרימה ושטיפת מים מלוחים אל הים וגורמת עלייה במליחות. כלורינציה - בתהליך זה מוסיפים כלור שמשמש מרכיב חשוב בחיטוי מי השתייה. לכן ריכוז הכלור במי הברז יהיה גבוה יותר במים מינרליים שאינם עוברים חיטוי על ידי כלורינציה.

שיטת בדיקה ספקטרופוטומטרית: כאשר קרן אור עוברת דרך תמיסה, חלקה יכול להיבלע על ידי מרכיבי התמיסה. ככל שריכוז היונים יהיה גבוה יותר, כך תיבלע כמות גדולה יותר של אור, ואז הקריאה בספקטרופוטומטר תהיה גדולה יותר. שיטה זו היא שיטה יותר מדויקת משיטת הטיטרציה שבעזרתה ערכנו את הבדיקות בניסוי 2, זאת כיוון ששיטה זו בודקת אפילו ריכוזים נמוכים של כלור, לעומת שיטת הטיטרציה שקשה מאוד לקבוע באמצעותה את ריכוז הכלור בדגימה.



חישוב ריכוז נתון כלורי

את חישוב ריכוז נתון כלורי עשינו ע"י הנוסחה הבאה :

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

ריכוז תמיסת נתון כלורי ההתחלתי (100 מ"ג כלוריד/ליטר) $= C_1$

נפח תמיסת הנתון הכלורי ההתחלתי (0.001, 0.002, 0.004, 0.0075, 0.01 ליטר) $= V_1$

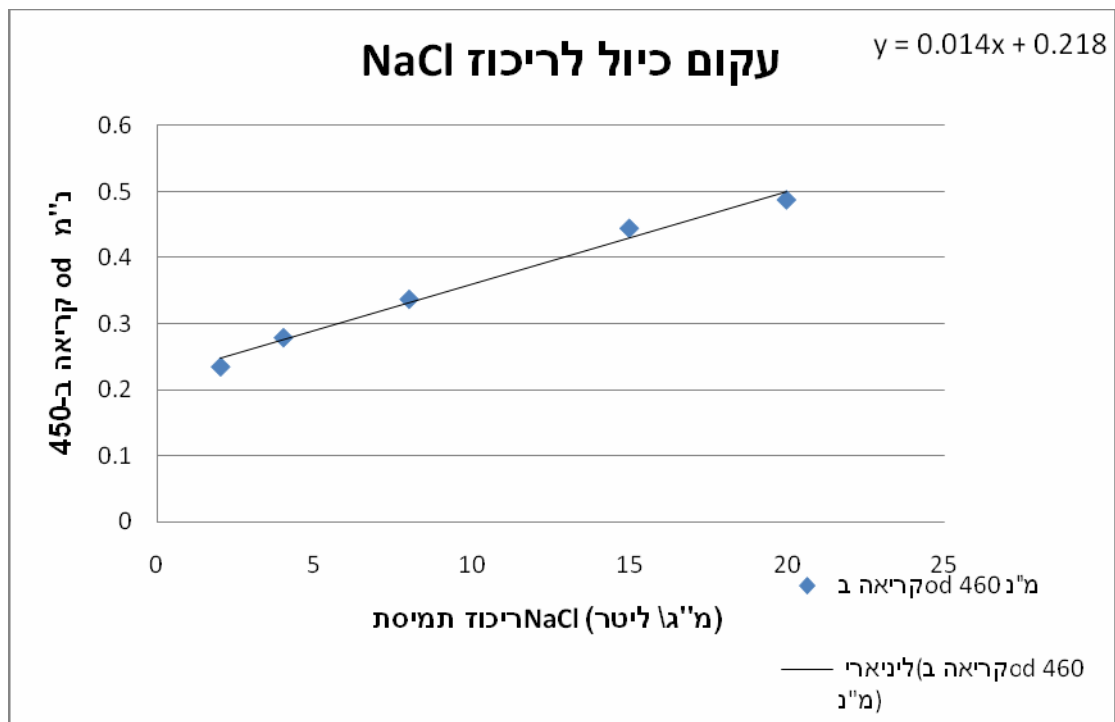
ריכוז תמיסת הנתון הכלורי אחרי המיהול. $= C_2$

נפח התמיסה הסופי (0.05 ליטר) $= V_2$

$$C_2 = C_1 V_1 / V_2$$

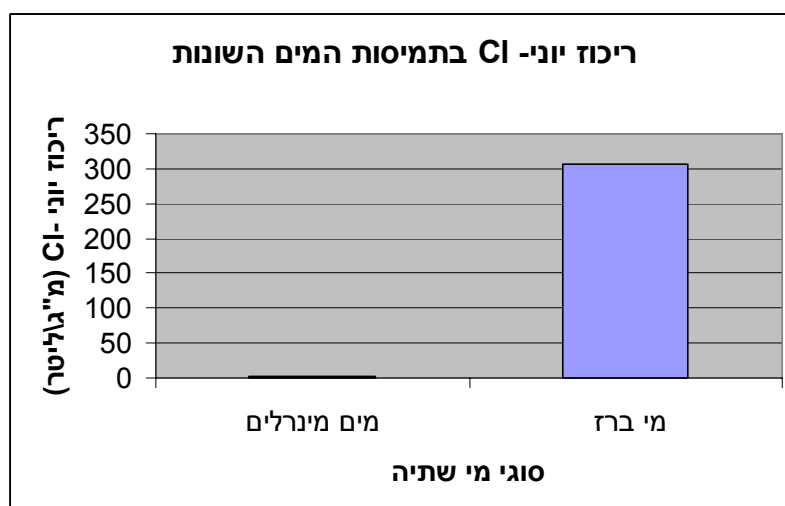
רישום תוצאות

קריאה ספקטרופוטטרית בתמיסות NaCl בריכוזים שונים.	
קריאה ב-460 נ"מ	ריכוז תמיסת NaCl (מ"ג/ליטר)
0.2352	2
0.279	4
0.3369	8
0.4437	15
0.4867	20



הצגת התוצאות

ריכוז יוני Cl^- בתמיסות המים השונות		
סוגי מי שתייה	קריאה ב-460 nm	ריכוז יוני Cl^- בדגימות המים (מ"ג/ליטר)
מים מינרליים	0.255	2.642857143
מים מינרליים מהולים פי 2	0.221	0.214285714
מי ברז מהולים פי עשרה	0.6467	30.62142857
מי ברז		$30.621 \times 10 = 306.2$



ניתוח התוצאות

לפי הגרף הנ"ל ניתן לראות כי ריכוז יוני כלור במי ברז הוא הגבוה ביותר.

התייחסות להשערה

תוצאות הניסוי מאששות את השערתנו, שלפיה ריכוז יוני הכלור במי הברז גבוה יותר בהשוואה לריכוז היונים במים מינרליים.

מסקנות

כאמור, מים מינרליים מכילים כמות קטנה של כלור. לעומת זאת מי ברז אשר נלקחו מאשקלון מכילים ריכוז יוני כלור גדול בהרבה מזה שבמים המינרליים, אך הוא עדיין מתחת לתקן המרבי המותר בישראל. לכן אין אנו משתמשים בממצאים אלו כדי לטעון שמים מינרליים טובים יותר או פחות מאשר מי ברז.

ניתן לראות כי שיטה זו אכן מדויקת יותר משיטת הטיטרציה. על פי שיטת הטיטרציה מצאנו שלא היו יוני כלור בדגימה, ואילו שיטת הספקטרופוטומטר העלתה כי באותה דגימת מים מינרליים יש ריכוז של 2.6 מ"ל יוני כלור לליטר.

8. תקן ישראלי

מי הברז שאנו שותים (שמקורם מאשקלון) עומדים בתקן הישראלי, שכן ריכוז יוני Cl^- הוא 306.2 (מ"ל/ליטר), ואילו הריכוז המרבי המותר של יוני הכלור הוא 600 (מ"ל/ליטר). המים המינרליים שבדקנו אף הם עומדים בתקן.

6. התייחסות לתוצאותינו ולנתונים הרשומים על התווית של המים המינרליים:

ריכוז יוני הכלור שקיבלנו במים המינרליים הוא 2.642 (מ"ג/ליטר). לעומת זאת בהתבוננות על הנתונים הרשומים על התווית של המים המינרליים רשום כי ריכוז יוני הכלורידים הוא 1.9 (מ"ג/ליטר). ערך ריכוז יוני הכלור שקיבלנו הוא גדול בהשוואה לרשום בתווית. במים המינרליים שלא מהלנו ביצענו את הניסוי באופן מדויק ביותר. לכן אנו סבורים כי התוצאה שקיבלנו הייתה מדויקת וכי התווית המופיעה על גבי האריזה אינה מהימנה.

דיון מסכם

מקור לטעויות

יוני כלור ממוימים אינם בולעים אור נראה. על מנת לזהותם מוסיפים לדגימה דגימת כספית תיוציאנט בנוכחות יוני ברזל תלת-ערכיים. בתגובה נוצרת כספית כלור מומסת. יוני התיוציאנט החופשיים יוצרים תצמיד אדום עם יוני הברזל. הבליעה של תצמיד זה נמצאת ביחס ישיר לריכוז יוני הכלור בדגימה. יכול להיות מצב שהבליעה של תצמיד זה תיצמא ביחס ישיר לריכוז יונים אחרים בדגימה, ולכן הקריאה בספקטרופוטומטר תכלול לא רק יוני כלור אלא יונים נוספים.

7. אין הבדל גדול בין הנתונים האישיים שלנו לאלו של הכיתה כולה. תוצאותינו קרובות מאוד לתוצאות הכיתה, לכן אנו סבורים כי תוצאותינו היו מדויקות.

9. בסיס לקביעת עמדה בנושא איכות המים: אנו טוענים כי ניתן להתבסס על התוצאות שלנו ולקבוע עמדה בנושא איכות המים, כיוון שתוצאות הכיתה היו דומות מאוד לשלנו (שאלה 7).

ריכוז יוני Cl^- בסוגי מים שונים על ידי קבוצות שונות						
	קבוצה 1	קבוצה 2	קבוצה 3	קבוצה 4	קבוצה 5	ממוצע
מים מינרליים	2.5	2.7	2.9	2.2	2.3	2.52
מי ברז מאשקלון	300.65	305.43	294.85	312.76	308.29	304.465

10. מידת ההתאמה בין התוצאות שקיבלנו בניסוי זה לאלו שקיבלנו בטיטרציה: בשני הניסויים

בדקנו סוגים שונים של מי ברז אך אותו הסוג של מים מינרליים. בניסוי הראשון בדקנו מי ברז שמקורם מאשדוד, רחובות וגן יבנה ומים מינרליים של סאן בנדטו. בניסוי השני בדקנו מי ברז מאשקלון ומים מינרליים של סאן בנדטו.

מידת ההתאמה בין התוצאות של המים המינרליים בניסוי הראשון לבין אלו שהתקבלו בניסוי השני, הייתה גבוהה שכן ריכוז הכלור היה דומה. לדעתנו, התוצאה של ניסוי זה הייתה מדויקת יותר.

שאלות שעלו במהלך הניסוי

1. האם יש שיטה מדויקת עוד יותר לבדיקת יוני כלור בדגימה?
 2. האם יש מצעי ספיחה אשר ניתן להשתמש בהם על מנת לסנן עודפי כלור החורגים מהתקן הישראלי?
- הצעה רלוונטית לפעילות נוספת:** אין לנו הצעה לפעילות נוספת.

דוגמאות לדו"חות תלמידים – ניסוי מספר 4

נושא: ניסוי חקר: מצעי ספיחה

מטרות הניסוי

- חלק ראשון-** לבדוק את יעילותם של מצעי הספיחה: פחם פעיל כנגד חומרים אורגניים, יוני כלוריד ויוני סידן המומסים במים.
- חלק שני-** לבדוק את יעילותו של מחליף קטיונים בספיחה של יונים חיוביים.
- חלק שלישי-** לבדוק את יעילותו של מצע הספיחה חול.
- חלק רביעי-** לבדוק את יעילותו של מרכז מים בהחלפת קטיונים ואניונים.

השערה

חלק ראשון – לפי דעתנו שימוש בפחם פעיל הוא יעיל מאוד בסינון תמיסת צבע מאכל אדום, אך פחות טוב לסינון תמיסת יוני כלור ויוני סידן.

בסיס מדעי: פחם פעיל סופח ביעילות חומרים מולקולריים ואין באפשרותו לרכז מים קשים. פחם פעיל יוצר קשרים בין מולקולריים עם מולקולות צבע המאכל, סופח אותו. פחם פעיל מיוצר ממגוון של חומרים מכילי פחם בטמפרטורה גבוהה שבה נוצרת מערכת מרוכבת נקבים ותעלות מיקרוסקופיות. הנקבים כולאים בתוכם חלקיקים מיקרוסקופיים ותרכובות פחמן גדולות, בעוד שטחי הפנים סופחים אליהם מולקולות קטנות יותר. מסנני פחם אינם מסננים חומרים יונים מומסים במים, ומשום כך אין הם יעילים לסינון יוני כלוריד ויוני סידן.

חלק שני – לפי דעתנו שימוש במחליף קטיונים הוא יעיל מאוד בסינון תמיסת יוני סידן, אך פחות יעיל לסינון תמיסת צבע מאכל ויוני כלור.

בסיס מדעי: מחליף קטיונים עשוי מחומר פולימרי היוצר רשת תלת-ממדית מוצקה, בעל קבוצות פעילות טעונות המשמשות ללכידת יונים מתמיסות המעוברות דרך מחליף יונים. במחליפי קטיונים המשמשים לריכוך מים הקבוצות הפעילות טעונות במטען שלילי, כלומר, הם ילכדו יונים חיוביים המועברים דרך מחליפי יונים. מחליף היונים אינו קושר אליו מולקולות של צבע מאכל, כיוון שאין הן טעונות, ומאחר שהוא דוחה יונים שליליים, ממילא אין הוא קושר גם אותם אליו.

חלק שלישי- לפי דעתנו שימוש בחול הוא יעיל מאוד בסינון תמיסת צבע מאכל אדום ובסינון תמיסת יוני כלור ויוני סידן.

בסיס מדעי: החול הוא מוצק גרגירי, לכן שטח פניו גדול למדי. כ- 99% מהחול מהווים למעשה את התרכובת הידועה בשם סיליקה. זוהי תרכובת בעלת מבנה ענק שעל שטח הפנים שלה נמצאים בעיקר אטומי חמצן בעלי זוגות אלקטרונים לא קושרים. אטומים אלו יכולים ליצור קשרים בין מולקולריים עם חומרים שונים המומסים במים.

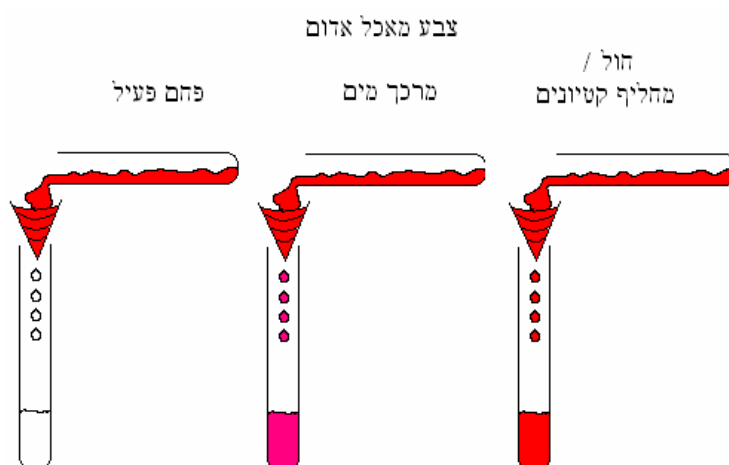
חלק רביעי - לפי דעתנו שימוש במרכז מים הוא יעיל מאוד בסינון יוני כלור ויוני סידן, אך אינו יעיל בסינון צבע מאכל.

בסיס מדעי: מרכז מים הוא מחליף יונים עשוי מחומר פולימרי היוצר רשת תלת-ממדית מוצקה, בעל קבוצות פעילות טעונות המשמשות ללכידת יונים מתמיסות המועברות דרך מחליף יונים. ביכולתו של מחליף יונים להחליף קטיונים וגם אניונים, כלומר, הוא יקשור גם יונים חיוביים וגם יונים שליליים, אך לא יקשור אליו מולקולות שאינן טעונות.

טבלת התצפיות (התוצאות)

תוצאות בדיקת התסנין לאחר סינון של תמיסות דרך מצעי ספיחה שונים
+, ++, +++ - כמות יחסית של המשקע

סוג התסנין והבדיקה שנערכה עבורו	מבחנות סינון במרכז מים	מבחנות סינון במחליף קטיונים	מבחנות סינון בפחם פעיל	מבחנות סינון בחול	מבחנות בקרה
תסנין תמיסת צבע מאכל אדום	5'	4'	3'	2'	1
	צבע ורדרד	צבע אדום כהה	התמיסה חסרת צבע	צבע אדום כהה	צבע אדום כהה
תסנין תמיסת יוני Cl^- 0.5M	10'	9'	8'	7'	6
נבדק לפי התגובה: $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ משקע לבן	מעט משקע לבן +	מעט משקע לבן +	משקע לבן והתמיסה עכורה ++	משקע לבן והתמיסה עכורה ++	משקע לבן והתמיסה עכורה +++
תסנין תמיסת יוני Ca^{2+} 0.5M	15'	14'	13'	12'	11
נבדק לפי התגובה: $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$ משקע לבן	מעט משקע לבן +	צלול	משקע לבן והתמיסה עכורה ++	משקע לבן והתמיסה עכורה ++	משקע לבן והתמיסה עכורה +++



עיבוד התוצאות

- לגבי צבע מאכל אדום: במבחנות שנעלם בהן הצבע האדום, פירוש הדבר שהוא נספח על ידי המצע.

2. לגבי תכולת יוני כלור – כאשר יוני הכלור נספחו על ידי המצע, הם לא נמצאו בתסנין, בבדיקה עם תגובת שיקוע $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ לא נוצר משקע.

3. לגבי יוני סידן Ca^{2+} : כאשר יוני הסידן נספחו על ידי המצע, הם לא נמצאו בתסנין, בבדיקת תגובת שיקוע $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$, לא נוצר משקע.

פירושים של תצפיות אחרי הבדיקות של תסנינים שעברו דרך מצעי ספיחה שונים					סוג התסנין והבדיקה שנערכה עבורו צבע מאכל אדום
סוג של מצע הספיחה					
ללא מצע	חול	פחם פעיל	מחליף קטיונים	במרכז מים	יוני Cl^-
1 לא נספח כלל	2' לא נספח כלל	3' נספח	4' לא נספח	5' נספח חלקית	
6 לא נספח כלל	7' לא נספח	8' לא נספח	9' נספח חלקית	10' נספח חלקית	
6 לא נספח כלל	12' לא נספח	13' לא נספח	14' נספח	15' נספח חלקית	יוני Ca^{2+}

ניתוח התוצאות

ניתן לראות את התוצאות האלה:

1. מרכז המים ספח חלקית את כל סוגי התסנין.
2. מחליף הקטיונים ספח היטב את יוני הסידן, ספח חלקית את יוני הכלור ולא ספח את צבע המאכל האדום.
3. פחם פעיל ספח היטב את צבע המאכל האדום, אך לא ספח את יוני הסידן ואת יוני הכלור.
4. חול לא ספח את יוני הכלור והסידן ולא ספח כלל את צבע המאכל האדום.

ניסוח מסקנות

התייחסות להשערה

חלק ראשון - התוצאות מאששות את השערתנו, כיוון שעל פי התוצאות ניתן לראות כי הפחם הפעיל סינן ביעילות רבה את תמיסת צבע המאכל האדום, אך לא סינן את תמיסת יוני הכלור ויוני הסידן.

חלק שני - התוצאות מאששות את השערתנו כיוון שעל פי התוצאות ניתן לראות כי מחליף הקטיונים לא סינן את צבע המאכל האדום ואת יוני הכלור אך סינן היטב את יוני הסידן הטעונים במטען חיובי.

חלק שלישי - התוצאות מפריכות את השערותינו, כיוון שעל פי התוצאות ניתן לראות כי החול לא סינן כלל את צבע המאכל האדום ולא סינן את יוני הסידן והכלור.

חלק רביעי - התוצאות מאששות חלקית את השערתנו, כיוון שעל פי התוצאות ניתן לראות כי מרכז המים סינן חלקית את צבע המאכל האדום, את יוני הסידן ואת יוני הכלור.

דיון מסכם

מגבלות הניסוי

ניסוי זה כלל תצפיות שניתן להעריך אותן אך ורק בעין, ולא על ידי בדיקה מספרית כמו בשאר הניסויים. קשה מאוד לקבוע את מידת העכירות או את כמות המשקע על פי מראית העין בלבד, וזו הסיבה לכך שקבוצות שונות העריכו את תוצאותיהן במידה שונה.

הצעה רלוונטית לפעילות נוספת

- לבצע סינון באמצעות כל אחד ממצעי הספיחה על סוגי תסנין שונים כמו מגנזיום וסידן, ובכך לקבוע כיצד רכות המים משתנה בין מצע ספיחה אחד לאחר.
- ניתן לראות את מידת הספיחה של מיקרואורגניזמים גורמי המחלות בכל אחד ממצעי הספיחה.
- ניתן לשנות את קצב זרימת המים, כלומר, זמן המגע של החומרים שבמים עם מצע הספיחה ישתנה.

תשובות לחלק ב' של הניסוי

- א. כיצד משפיע ריכוז הכלור על רמת הסינון דרך מרכז מים?
- ב. כיצד משפיע ריכוז הסיידן על רמת הסינון דרך מחליף קטיונים?
- ג. כיצד משפיעה כמות הפחם הפעיל על סינון צבע המאכל האדום?
- ד. כיצד משפיעה כמות התערובת של מרכז המים על סינון יוני הסיידן והכלור?
- ה. כיצד משפיעה כמות החול על סינון יוני הכלור והסיידן?

מספר הניסוי	גורמים שנשארו קבועים	משתנה תלוי	משתנה בלתי תלוי
א	כמות התערובת של מרכז המים, טמפרטורה	רמת הסינון של כלור	ריכוז כלור
ב	כמות התערובת של מחליף הקטיונים, טמפרטורה	רמת הסינון של סידן	ריכוז סידן
ג	כמות צבע מאכל אדום, טמפרטורה	רמת הסינון של צבע מאכל	כמות הפחם
ד	נפח תמיסת יוני סידן בריכוז 0.25 מולר, נפח תמיסת יוני כלור בריכוז 0.5 מולר	רמת הסינון של היונים	כמות התערובת של מרכז המים
ה	נפח תמיסת יוני סידן בריכוז 0.25 מולר, נפח תמיסת יוני כלור בריכוז 0.5 מולר	רמת הסינון של היונים	כמות החול

- נבחר בשאלה ג.
- השערה: ככל שכמות הפחם הפעיל תהיה גדולה יותר, כך רמת הסינון של צבע המאכל תהיה טובה יותר.
- בסיס מדעי: ככל שכמות הפחם הפעיל גדולה יותר, שטח הפנים שלה גדול יותר. הנקבים כולאים בתוכם חלקיקים מיקרוסקופיים ומולקולות אורגניות גדולות, בעוד שטחי הפנים סופחים אליהם מולקולות קטנות יותר.
- מהלך הניסוי

- א. נשקול כמויות שונות (בעזרת מאזניים וניירות שקילה) של פחם פעיל אבקתי :
 10,20,30,40,50,60,70 גרם ונכניס אותם בהתאמה למבחנות המסומנות ב-1-7.
- ב. לכל אחת משבע המבחנות נוסיף 5 מ"ל תמיסה מרוכזת של צבע מאכל. נערבב את תוכנה של כל מבחנה בעזרת קיסם עץ. נעשה זאת גם למבחנה 0 שתהווה בקרה.
- ג. נכין 7 משפכים עם נייר סינון מקופל בתוכם.
- ד. נסנן את כל אחת מ-7 המבחנות דרך משפך עם נייר סינון לתוך 7 מבחנות נקיות.
- ה. נתבונן בצבעי התמיסות במבחנות ונשווה אותן לתמיסה המקורית.

רשימת ציוד

1. 280 גרם של פחם פעיל אבקתי
2. 15 מבחנות זכוכית
3. 7 משפכים
4. ניירות לשקילה
5. מאזניים
6. קיסמי עץ
7. 7 ניירות סינון
8. 40 מ"ל תמיסת צבע מאכל אדום
9. כפיות פלסטיק לשקילה
10. טוש לסימון המבחנות.

מבחנות	צבע התמיסה ודירוג עוצמתו ב- (+)
0- בקרה	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

דוגמאות לדו"חות תלמידים – ניסוי מספר 5

נושא: בקבוקים לוחטים

מטרת הניסוי: קביעה של השפעת הקרינה על עליית הטמפרטורה של פחמן דו חמצני.

שלב א':

תיאור המערכת:

הנורות הועמדו במרחק 5 ס"מ מהבקבוקים. בקבוק אחד מלא בפחמן דו חמצני והשני באוויר. נפח הבקבוקים הוא 1.5 ליטר. הנורות (בעלות אותו הספק 100 וואט, שטח הפנים זהה וסוג הקרינה זהה) מכוונות לאמצע הבקבוקים. הפקק של בקבוק הפחמן דו חמצני הינו אטום בפלסטלינה. הבקבוקים היו חשופים לקרינה.

תצפיות:

1. כאשר הכנסנו את החיישן לבקבוק הפחמן דו חמצני הרגשנו לחץ של אוויר יוצא החוצה.
2. הבקבוקים במהלך הניסוי היו חמים מאוד.
3. הרגשנו חום בגלל הפעלת הנורות.

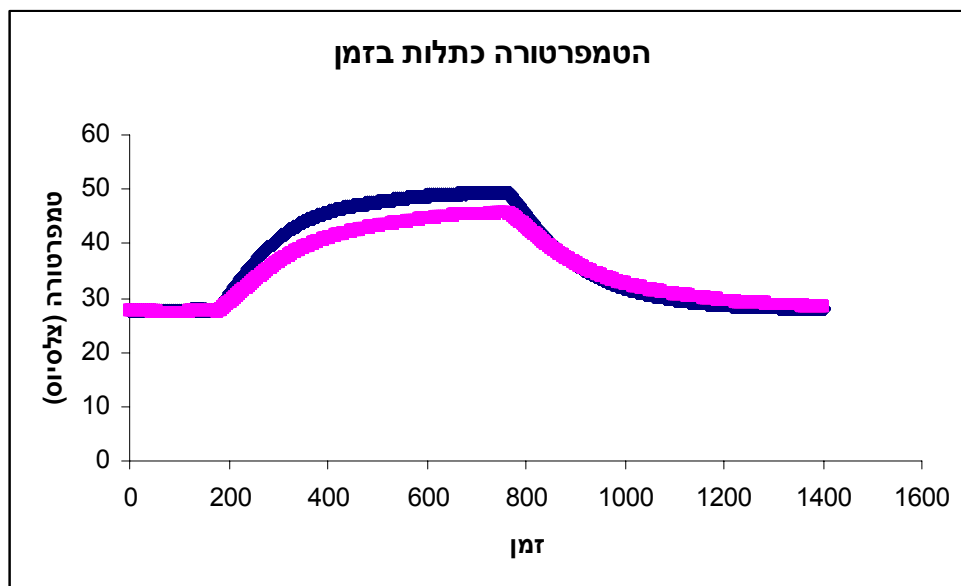
מהלך הניסוי:

בשלב הראשוני הרכבנו את המערכת במלואה והפעלנו את המולטילוג. בדקנו את טמפרטורת הגזים בשני הבקבוקים והמתנו עד להשוואתן. (רשמנו את הטמפרטורה ההתחלתית והסופית) לאחר מכן איפסנו את המערכת והדלקנו את הנורות. המתנו 10 דקות עד לחימום הבקבוקים. חיכינו 10 דקות נוספות לקירור המערכת.

תוצאות:

פחמן דו חמצני	אוויר	
32	34	טמפרטורה התחלתית (צלזיוס)
46	43	טמפרטורה מרבית (צלזיוס)
28	28	טמפרטורה סופית (צלזיוס)

עיבוד התוצאות:



מסקנות:

1. פחמן דו חמצני מתחמם יותר מהר מאשר אוויר.
2. פחמן דו חמצני מגיע לטמפר' גבוהה יותר למרות שהתחיל בטמפר' נמוכה יותר, דבר המעיד על פוטנציאל להגיע לטמפר' גבוהה יותר.
3. משך הקירור היה שווה בין שני הגזים.

שלב ב'

שאלות המתעוררות בעקבות התצפיות שנערכו :

1. האם יש השפעה של המרחק בין הבקבוק לנורה על עליית הטמפר'?
2. האם יש קשר בין סוג הנורה והספקה לבין עלייה בטמפר'?
3. האם סוג הגז משנה את קצת העלייה של הטמפר'?
4. האם נפח הבקבוק משנה את קצב העלייה של הטמפר'?
5. האם זמן החימום משנה את הטמפר' הסופית?
6. האם ריכוז הגז משנה את קצב עליית הטמפר'?

שאלת החקר : כיצד מרחק הנורה מהבקבוק משפיע על מהירות שינוי טמפר' הגז?

השערה : ככל שהנורה תהיה קרובה יותר לבקבוק כך טמפר' הגז תהיה גבוהה יותר. ככל שהנורה קרובה יותר, עוצמת האור חזקה יותר, מרוכזת יותר ופחות קרינה מתבזזת בחלל החדר.

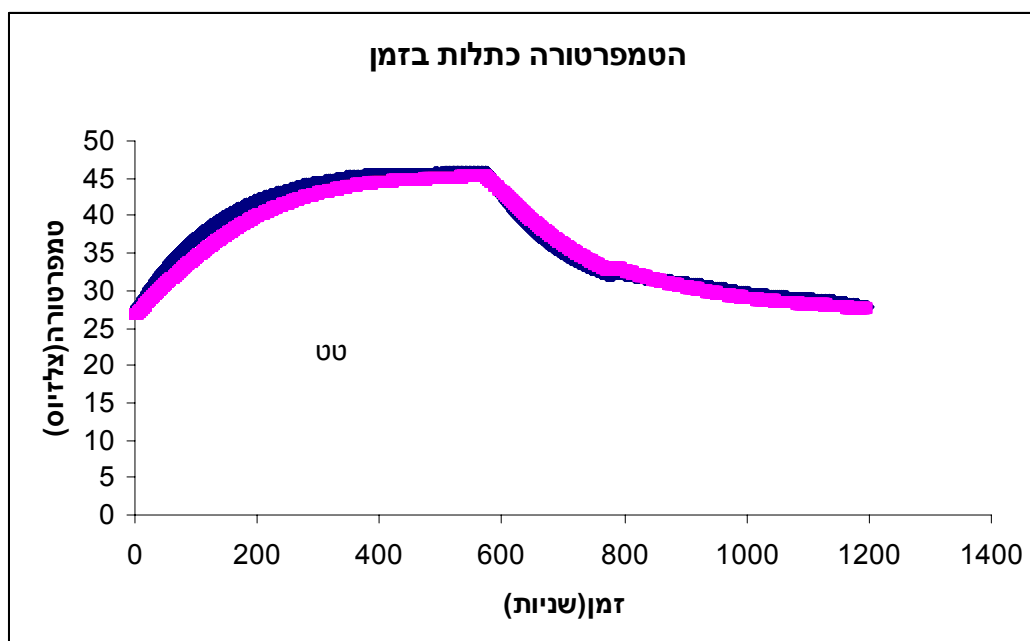
ציוד וחומרים : מכשיר מולטילוג המחובר למחשב, 2 חיישני טמפר' לשימוש עם מולטילוג, 2 בקבוקי 1.5 ליטר המכילים פחמן דו חמצני, 2 נורות חימום בעלות הספק זהה, 2 מעמדים ותפסים, חומר לאיטום הבקבוקים וסרגל.

מהלך הניסוי: אנו מרכיבים את המערכת, את אחד מהבקבוקים מציבים במרחק קטן של 3 ס"מ מהנורה והשני במרחק גדול יותר של 10 ס"מ מהנורה. לאחר מכן מפעילים את המולטילוג ובודקים שהטמפ' ההתחלתית בשני הבקבוקים זהה. מדליקים את הנורות ומחכים 10 דקות עד לחימום המירבי ורושמים את התוצאות. לבסוף מכבים את הנורות ומחכים 10 דקות לקירור המערכת.

תוצאות:

בקבוק במרחק 10 ס"מ מהנורה	בקבוק במרחק 3 ס"מ מהנורה	
27	27	טמפ' התחלתית (צלזיוס)
45	45	טמפ' מרבית (צלזיוס)
27	27	טמפ' סופית (צלזיוס)

עיבוד תוצאות:



מסקנות:

- קצב ההתחממות של הפחמן הדו חמצני בבקבוק הקרוב יותר לנורה היה גבוה יותר ולכן הטמפ' שלו ב-5 דקות ראשונות היתה גדולה ב-3 מעלות צלזיוס.
- שני הבקבוקים הגיעו לאותה טמפ' סופית ומכאן ניתן לשער שיש לפחמן דו חמצני טמפ' מרבית שלא ניתן לעבור אותה (לאחר 10 דקות).

בסופו של דבר ניתן להגיד שיש קשר בין מרחק הנורה לבקבוקים המלאים בגזים לבין קצב התחממות הגז.
ההשערה שלנו אוששה. ככל שהנורה קרובה יותר לבקבוקים המלאים בגז כך קצב עליית הטמפ' של הפחמן דו חמצני היה מהיר יותר.
ניתן להסיק שאם כדור הארץ והשמש יתקרבו אחד לשני קצב עליית הטמפ' של הגזים בכדור הארץ תהיה מהירה יותר וכך כדה"א יתחמם מהר יותר ונהיה נתונים בסכנה גדולה יותר.

ביקורת:

1. היינו צריכות לבצע את הניסוי בהפרשי מרחק גדולים יותר כדי לקבל תוצאות מדויקות ומשמעותיות יותר.
2. פרלקסה-קריאה לא נכונה של המדידה באמצעות הסרגל.

שאלות:

1. איך אפשר למנוע את התחממות כדור הארץ?
2. אילו פעולות בחיי היומיום אנו עושים אשר משפיעים על תופעת אפקט החממה?

דוגמאות לשאלות חקר שהעלו תלמידים בניסוי חקר זה.

1. כיצד משפיע המרחק ממקור הקרינה על עליית הטמפרטורה
2. כיצד משפיע אור הגל של הקרינה על עליית הטמפרטורה
3. כיצד משפיע סוג הגז על עליית הטמפרטורה
4. כיצד משפיע כמות הגז על עליית הטמפרטורה
5. כיצד משפיע גז פחמן דו-חמצני המומס במים על עליית הטמפרטורה (כסימולציה להמסת הגז באוקיאנוסים)
6. כיצד משפיע נפח הבקבוק על עליית הטמפרטורה
7. כיצד משפיע סוג החומר של הבקבוק על עליית הטמפרטורה?
5. עיבוד סטטיסטי של הנתונים

מושגי יסוד

1. מדידה: התהליך שבו אנו מודדים. התהליך יכול להיות פשוט, כמו קריאה של מד טמפרטורה, או מסובך יותר, כמו סך כל הפעולות הנדרשות למדידה בשיטה כימית, לדוגמה, טיטרציה.
2. מהימנות (Precision): מדידה היא מהימנה אם היא קרובה בערכה לערך של מדידות אחרות שהתקבלו על ידי חזרה על אותה קביעה באותה השיטה.
3. הדירות (reproducibility): השונות הנוצרת משימוש באותה שיטת מדידה על ידי מכשירים שונים ומשתמשים שונים, במהלך זמן ממושך (למונח זה קשר הדוק למהימנות).
4. דיוק (Accuracy): מידת האמיתות של המדידה. מדידה היא מדויקת אם היא קרובה לערך האמיתי. כיוון שהערך האמיתי אינו ידוע במדויק (כי הוא תמיד תלוי-מדידה...), הרי שקיים ערך מוסכם המקובל כערך האמיתי, ואליו משווים את התוצאה לשם קביעת רמת הדיוק.

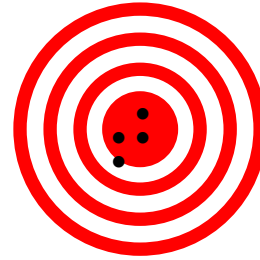
ניתן לתאר בצורה גרפית את היחס בין מהימנות לדיוק על ידי דימוי תהליך המדידה לפגיעה בלוח מטרה:

מהימנות גבוהה, כל הפגיעות במקבץ צפוף, אולם דיוק נמוך, כי הפגיעות רחוקות מהמטרה.



דיוק גבוה, כל הפגיעות קרובות יחסית למטרה, אולם מהימנות נמוכה, שכן הפגיעות רחוקות זו מזו.





5. שגיאה (Error): כל דבר הגורם לערך הנמדד להיות שונה מהערך האמתי. הכמות שבה הערך הנמדד שונה מהערך האמתי.

רוב השגיאות במדידה מקורן לא בטעויות אנוש, אלא בכיול לקוי, בשונות אקראית, ובחוסר ודאות במדידה. מסיבה זו אין ביכולתנו לבצע מדידה חפה משגיאות. עלינו לשאוף להקטין למינימום ולדעת להעריך את גודלן. השגיאות הן הגורם לכך שמדידות חוזרות אינן זהות זו לזו. אולם ביכולתנו להעריך את גודל השגיאה במדידה ולהגדיר את קרבת המדידה שלנו לערך האמתי בסבירות ידועה.

אמינותה של מדידה ניתנת להערכה במספר דרכים: שימוש בתמיסות סטנדרטיות לצורך כיול מכשירים, הכנת גרף כיול, הסתייעות בספרות מקצועית וטיפול סטטיסטי נאות בתוצאות. השאלה הראשונה שעלינו לשאול היא: "מהי השגיאה המקסימלית שניתן לקבל בתוצאת המדידה?" התשובה לשאלה זו תקבע את השיטה שבה תתבצע המדידה. מכיוון שמדידה אחת אינה מספקת שום מידע על אמינות התוצאה, נהוג לחלק את הדגימה למספר חלקים, ולבצע 2-5 מדידות חוזרות. תוצאות מדידות אלו שונות זו מזו כמעט תמיד, והערך האמצעי נחשב לתוצאה הטובה ביותר, משתי סיבות: ראשית, ערך המתבסס על מספר מדידות לעולם יהיה אמין יותר ממדידה בודדת. שנית, בדיקת השונות בין התוצאות מאפשרת הערכה של מידת אי הוודאות בתוצאה המרכזית.

6. ממוצע ותיכון: הממוצע מתקבל על ידי חלוקת סכום התוצאות במספר המדידות:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

כאשר x הוא ערך המדידה הספציפית, ו- N הוא מספר המדידות.

החציון הנו הערך האמצעי כאשר ערכי מדידות חוזרות מסודרים על פי ערך עולה (או יורד). עבור מספר מדידות זוגי, התיכון הוא הממוצע של שני הערכים המרכזיים. ככל שמספר המדידות גדול יותר, כך גדל הסיכוי שהממוצע והתיכון יהיו בעלי אותו ערך.

ביטוי סטטיסטי למהימנות ודיוק

ניתן לבטא דיוק ומהימנות באופן כמותי במספר דרכים: את הדיוק מבטאים על ידי קביעת השגיאה - ההפרש בין התוצאה הנמדדת לתוצאה האמתית. הדיוק של מדידה מתואר מתמטית במונחים של שגיאה מוחלטת או שגיאה יחסית.

שגיאה מוחלטת: ההפרש בין הערך הנמדד לערך המקובל כאמתי: $E = x_i - x_t$, כאשר E היא השגיאה המוחלטת, x_t הערך ה"אמתי". לשגיאה המוחלטת סימן חיובי, כשהערך הנמדד גבוה מהאמתי, והיא מקבלת סימן שלילי, כשהוא נמוך ממנו. שגיאה יחסית: אחוז השגיאה הוא לרוב שימושי יותר משגיאה מוחלטת וניתן לחשב אותה על ידי

$$Er = \frac{x_i - x_t}{x_t} \times 100$$

המשוואה הבאה:

קיימים שני סוגי שגיאות ניסיוניות - שגיאה שיטתית ושגיאה אקראית וניתן לסווג שגיאות על פי העקביות שבה הן מתרחשות.

שגיאה שיטתית, או קבועה, מתרחשת בכל פעם שחוזרים על המדידה. השגיאה מתבטאת בכך שממוצע של מדידות יהיה שונה מהערך האמתי המקובל. במצב זה כל התוצאות שמתקבלות יהיו גבוהות מדי או נמוכות מדי. השגיאה השיטתית פוגעת בדיוק המדידה.

שגיאה שיטתית גורמת להטיה שיטתית של תוצאות המדידה. מקורה יכול להיות בשגיאה מכשירית, שגיאות בפרוצדורה הניסיונית שנבחרה לצורך קביעת הנעלם ושגיאות אנוש בעת הביצוע. ניתן לזהות שגיאות מכשירית על ידי כיול ומדידת סטנדרט: חומר או נתון פיזיקלי שעבורו קיימת תוצאה מוסכמת, שניתן להשוות בינה לבין תוצאות המדידה. ניתן לתקן את השגיאה על ידי כיול מחדש של מכשיר המדידה או על ידי הפחתה או הוספה של גורם תיקון בעת חישוב התוצאות. שגיאות של פרוצדורה עלולות להיגרם כתוצאה מתגובה כימית איטית, מאי יציבותם של תוצרים מסוימים ומתגובות לוואי המתרחשות במקביל לתגובה הנמדדת. שגיאות אנוש נובעות ממגבלות של קריאת השנתות במכשיר מדידה, מזיהוי של שינוי צבע בקביעת נקודת הסיום של טיטרציה ועוד.

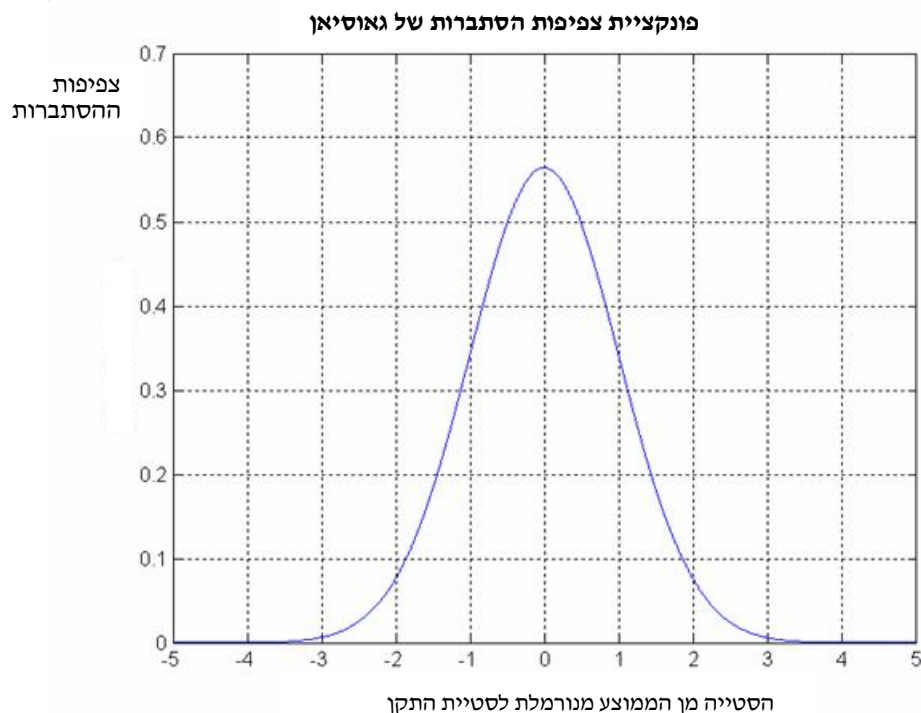
שגיאה אקראית, או בלתי קבועה, היא שגיאה שאינה חוזרת על עצמה במדידות חוזרות. שגיאות אלו גורמות לכך שמדידות חוזרות יהיו שונות זו מזו למרות מיטב הניסיונות שלנו לחזור עליהן באופן זהה. השגיאה האקראית היא סכום של הרבה שגיאות אקראיות קטנות, שיחדיו מסתכמות בשגיאה הנראית לעין. שינויי טמפרטורה, קריאה סובייקטיבית של מכשירי מדידה, משב אוויר המשפיע על קריאת מאזניים, כולם תורמים לשגיאה האקראית. שגיאה מסוג זה גורמת לתוצאות להתפזר באופן סימטרי פחות או יותר סביב ערך ממוצע כלשהו בהתפלגות הנקראת נורמלית, או גאוסיאנית. שגיאה אקראית גורמת למהימנות נמוכה במדידה. ניתן להקטין שגיאה אקראית על ידי שימוש במכשיר מדידה בעל דיוק גבוה יותר. כמו כן ניתן להגדיל את מספר המדידות החוזרות ולמצע את התוצאות. אם התוצאות מתאימות להתפלגות סטטיסטית נורמלית, הרי שהממוצע אמור לבטל שגיאות אקראיות.

טיפול סטטיסטי בשגיאה אקראית

נתייחס לדוגמה הבאה: כל התלמידים בכיתה ייקחו מטבע ויטילו אותה 10 פעמים. התלמידים ירשמו את מספר הפעמים שבהם קיבלו "עץ", יסכמו את תוצאות הכיתה ויערכו גרף עמודות. להלן סיכום של הניסוי עבור מספר גדול מאוד של תלמידים:

מספר הפעמים שהתקבל "עץ"	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
מספר התלמידים	1	1	22	42	102	104	92	48	22	7	1

אם אתם מחליטים לערוך התנסות זו בכיתה, הוסיפו את תוצאות הכיתה לתוצאות אלו וערכו שוב גרף עמודות. ניתן לראות שככל שמספר הניסויים רב יותר, כך מתקרב הגרף לצורת ההתפלגות הנורמלית, הגאוסיאן, המוצג בהמשך:



ניתן לבחון את המהימנות של סדרת בדיקות ואת חשיבות השגיאה שבה על ידי טיפול סטטיסטי. הנחת היסוד שלנו ככימאים היא שהשגיאות שבהן אנו נתקלים מתאימות להתפלגות נורמלית. כבכל תהליך סטטיסטי, גם אנחנו נסיק מסקנות מן הניסויים ונחיל אותן על אוכלוסייה גדולה מתוך נתונים שנקבל ממספר דגימות מצומצם. קיים תמיד החשש שמספר דגימות מצומצם אינו מאפיין כהלכה את האוכלוסייה כולה, ובאופן כללי, ככל שגדל מספר הדגימות, כך הסבירות לקבלת תוצאה מהימנה ומדויקת יותר גדלה. כיוון שלרוב נעסוק במספר דגימות קטן יחסית, הרי שנשתמש בביטויים סטטיסטיים המותאמים לטיפול מסוג זה.

סטיית התקן היא הביטוי למהימנות סטטיסטית.
סטיית התקן מקורה במידה שבה כל אחת מהתוצאות שונה מהממוצע.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

כאשר: Σ מסמלת סכום

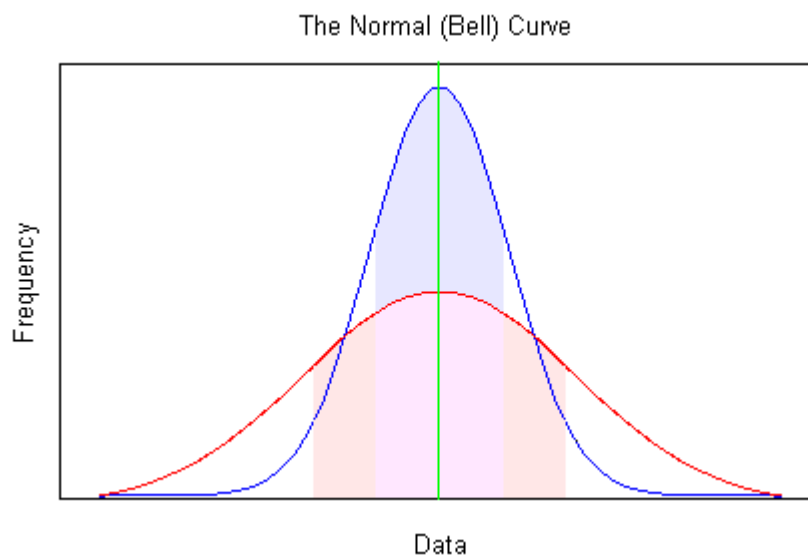
x_i מסמל ערכים נמדדים ספציפיים

$\bar{x}$ מסמל את הערך הממוצע

n מסמל את מספר המדידות.

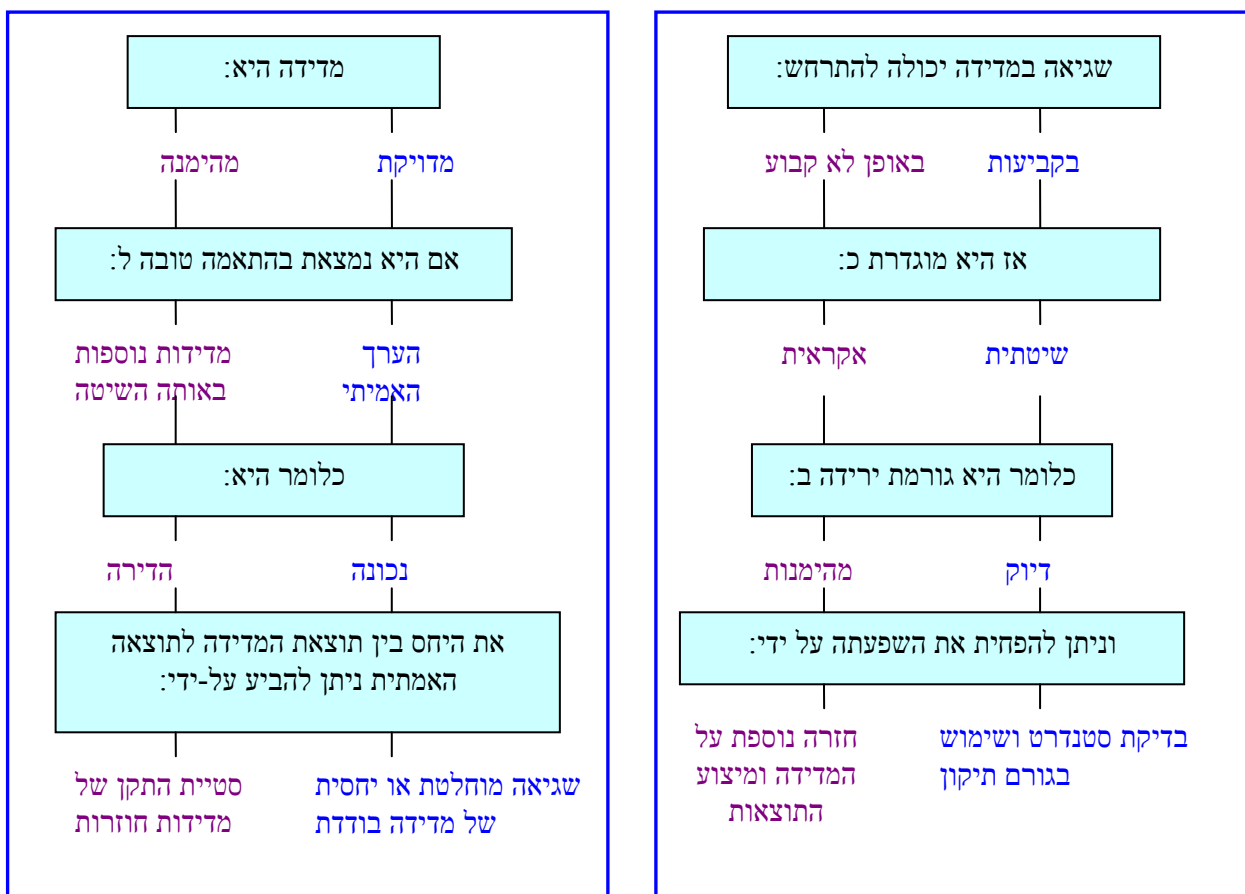
סטיית התקן היא מדד למידת ההתאמה של ערכי מדידות ספציפיות לערך הממוצע. עבור התפלגות נתונים נורמלית, סטיית התקן מתארת מצב שבו 68% מכלל המדידות נכללים בטווח $\bar{x} \pm s$. 95.4% מכלל המדידות נכללות בטווח $\bar{x} \pm 2s$. סטיית תקן נמוכה מצביעה על מהימנות גבוהה.

הגרף הבא מראה שתי התפלגויות נורמליות בעלות אותו הממוצע. השטח המודגש תחת כל עקומה מתאר סטיית תקן אחת מהממוצע. ניתן לראות שככל שההתפלגות צרה יותר, סטיית התקן קטנה יותר, והתוצאות מהימנות יותר (68% מהתוצאות נמצאות בהתאמה טובה יותר לערך הממוצע).



השגיאה הכוללת של מדידה היא סכום השגיאה השיטתית והאקראית. שגיאה אקראית גורמת להדירות נמוכה במדידה, בעוד שגיאה שיטתית גורמת לחוסר דיוק. יש לציין כי שגיאות מדידה רבות הן מורכבות, ואין אפשרות להפריד בהן את הרכיב השיטתי מהאקראי. קיימות גם שגיאות גסות, שמקורן לרוב בטעות אנוש: איבוד חלק ממשקע, טעות בשקילה וכו'. שגיאות אלו מובילות לתוצאות קיצון, שגם בהן ניתן לטפל סטטיסטית.

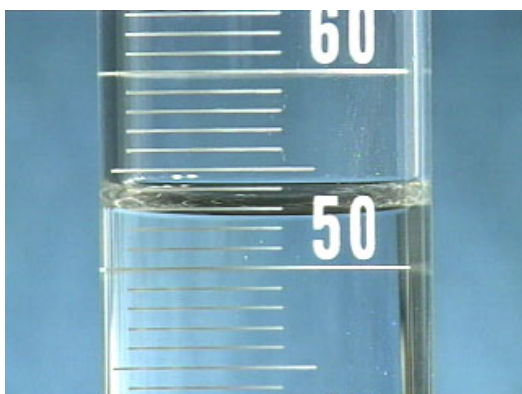
ניתן לסכם את המושגים שהכרנו ואת הקשרים ביניהם באופן הבא :



דיווח של תוצאות ניסיוניות ומחושבות

בבואנו לדווח מספרית אודות נתונים ניסיוניים, עלינו להביע את הערכתנו הטובה ביותר באשר לאמינותם של הנתונים. אם לא כן אין לתוצאה המספרית ערך כלשהו, והשימוש בה עלול להיות חסר תועלת. דרך טובה אחת להעביר מידע אודות אמינות הנתונים היא לדווח את סטיית התקן של התוצאה וכן את מספר הדגימות שנלקחו. מדד שימושי נוסף המצביע על איכות התוצאה הוא השימוש בספרות מובהקות (Significant figures).

ספרות מובהקות במספר הן כל הספרות הידועות בוודאות, ועוד ספרה אחת שערכה אינו ודאי ומבוסס על הערכה.



לדוגמה, כאשר קוראים את נפח הנוזל במשורה שמשמאל, ניתן לראות כי הנפח גדול מ-52 מ"ל, אולם קטן מ-53 מ"ל. ניתן להעריך כי נפח הנוזל בין שתי השנתות הוא 0.7 מ"ל. מכאן שעל פי כלל הספרות המובהקות, עלינו לדווח כי נפח הנוזל הוא 52.7 מ"ל. במספר זה שלוש ספרות מובהקות,

השתיים הראשונות מתוכן ודאיות, והשלישית מוערכת.

הספרה 0 היא לעתים מובהקת ולעתים לא. אפס המוקף בספרות אחרות הוא תמיד מובהק, שכן הוא נקרא ישירות ממכשיר מדידה (למשל 30.55 גרם). אולם אפסים שתפקידם למקם את הנקודה העשרונית אינם מובהקים. לדוגמה, המספר 30.55 גרם הוא בעל ארבע ספרות מובהקות. גם במספר 0.03055 ק"ג ארבע ספרות מובהקות. האפסים בסופו של מספר הם המבלבלים ביותר. לדוגמה, נפחה של כוס מדידה הוא 2.0 ליטר. במספר שתי ספרות מובהקות, המצביעות על כך שהנפח ידוע בדיוק של עשירית הליטר. אולם ניתן לדווח על אותו נפח כ-2000 מ"ל. כולנו יודעים שאין כוס מדידה שבה הדיוק הנמדד הוא 1 מ"ל, ולכן במקרה זה שני האפסים האחרונים במספר אינם מובהקים. לו היינו מודדים את אותו נוזל במשורה גדולה בעלת שנתות של 10 מ"ל, אזי היו במספר 2000 מ"ל ארבע ספרות מובהקות. לכן נהוג להקפיד ולדווח ערכי מדידות בעזרת חזקות

עשרוניות, כלומר, את 2000 מ"ל שבכוס המדידה נתאר ע"י 2.0×10^3 מ"ל.

ספרות מובהקות בחישובים :

נדגים את הקושי בעזרת חיבור וחיסור של שני מספרים בעלי מספר שונה של ספרות מובהקות :

$$4.5 + 5.61 + 0.033 = 10.143 \quad \text{לדוגמה :}$$

הספרות במקום השני והשלישי אחרי הנקודה בתוצאה 10.143 אינן מובהקות, כיוון שב-4.5 ספרת העשיריות היא הספרה המובהקת האחרונה.

כלומר : בחיבור וחיסור יש לערוך את הפעולה החשבונית ואז לעגל את התוצאה עד למקום המתאים למחובר או המחוסר בעל מספר הספרות המובהקות הקטן ביותר, כך :

$4.5 + 5.61 + 0.033 = 10.143$, את התוצאה יש לעגל ל-10.1. שימו לב, למרות שבשני מחוברים יש רק שתי ספרות מובהקות, בתוצאה יש שלוש ספרות מובהקות.

ככלל דרך חישוב זו – קרי כשאנו משתמשים בספרות המובהקות לכל הנתונים ומעגלים כך שמספר הספרות המובהקות שבתשובה יהיה זהה לאלה שבאיבר בעל מספר הספרות המובהקות הקטן ביותר – מתאימה גם לכפל וחילוק.

עיגול של נתונים

בחישוב ממוצעים יש להקפיד ולעגל את הממוצע, כך שיהיה בעל אותו מספר של ספרות מובהקות כמו הנתונים שמהם נגזר. כשמעגלים מספרים המסתיימים ב-5, נהוג לעגלם לספרה הזוגית הקרובה ביותר, כלומר : את 32.555 נעגל ל-32.56, (ולא ל-32.55), ואילו את 32.545 נעגל ל-32.54, (ולא ל-32.55). באופן זה ניתן להימנע מיצירת העדפה על ידי עיגול קבוע "כלפי מעלה".

על סטיית התקן יש לדווח ברמת דיוק של עד ספרה מובהקת אחת בלבד.