

פרק 4: החמצת האוקיינוסים

תוכן עניינים

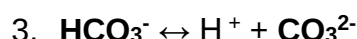
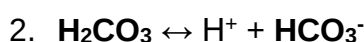
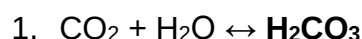
1.....	פרק 4: החמצת האוקיינוסים	
1.....	קישורים לשיעורים	
2.....	4.1 החמצת האוקיינוסים איך זה עובד?	
4.....	4.2 השלכות ביולוגיות של החמצת אוקיינוסים	
5.....	4.3 שיעורים ומשימות	
5.....	4.3.1 שיעור 7 - החמצת אוקיינוסים	

קישורים לשיעורים

[שיעור 7 - החמצת אוקיינוסים](#)

4.1 החמצת האוקיינוסים איך זה עובד?

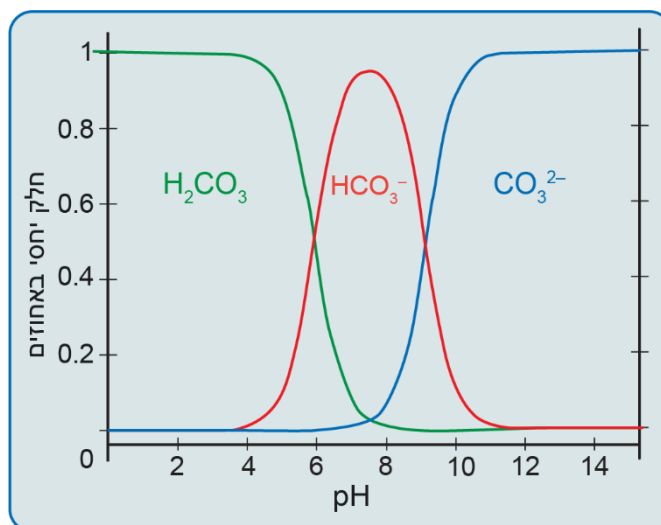
האוקיינוסים מהווים מקור מבלע גדול ביותר לפחמן (פי 50 יותר מאשר באטמוספירה), שם הוא נמצא בדרך כלל בצורת יוני ביקרבונט (HCO_3^-), יוני קרבונט (CO_3^{2-}), או כמרכיב עיקרי במיקרואורגניזמים (Bar-On et al., 2018). שריפת דלקי מאובנים ושינוי בשימושי קרקע שיחררו לאטמוספירה מאז סוף המאה ה-19 כמויות עצומות של פחמן דו-חמצני מה שהעלה את ריכוזו באטמוספירה לרמות שלא היו מוכרות אלפי שנים לפני כן. יחד עם זאת, עליה זו מתמתנת על ידי האוקיינוסים שקולטים לפחות שליש מכמות הפחמן שנפלטת לאטמוספירה ממקורות אנתרופוגניים (אנושיים) (Sabine et al., 2004). אילולא כך, היינו חווים רמות גדולות בהרבה של פחמן דו-חמצני באטמוספירה. לעליה בריכוז פחמן דו-חמצני באוקיינוסים יש מחיר, היא גורמת לירידה ב-pH ולשינויים כימיים אחרים שנקראים ביחד "החמצת אוקיינוסים" או כמו שמדענים קוראים לזה: "The other CO₂ problem" (Doney et al., 2009). זרמי האוקיינוסים מניעים פחמן דו-חמצני מהשכבות העליונות של המים לשכבות העמוקות יותר. פחמן דו-חמצני שעבר בדיפוזיה מהאטמוספירה לשכבה העליונה באוקיינוס הופך ליון ביקרבונט. בתלות בזרמים, בצפיפות המים, מועבר הפחמן הדו-חמצני מהשטח העליון של האוקיינוסים הפסיפי והאטלנטי לעומק האוקיינוס האטלנטי והים הארקטי. אחסון הפחמן הדו-חמצני בים העמוק הקר משמש כמבלע לשינויים בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה. הבנת המנגנונים המתווכים את שינוי ריכוז הפחמן הדו-חמצני בין היבשה, האוקיינוסים והאטמוספירה ואת ההשפעה שלהם על שינויי האקלים היא חשובה מאד. לאחר שהתמוססה במי הים, מולקולת CO₂ מגיבה עם מים וכתוצאה מכך נוצרת חומצה פחמתית (H₂CO₃), שיכולה להמשיך ולהתפרק על ידי מסירת יוני מימן למולקולות מים נוספות, כדי ליצור יוני ביקרבונט (HCO_3^-) ויוני קרבונט (CO_3^{2-}). תגובות אלה נמצאות בשיווי משקל הפיך (משוואות 1-3).



משוואות 1-3: משוואות כימיות המתארות את תגובת פחמן דו-חמצני עם מים.

הירידה המשוערת עד לסוף המאה ה-21 בדרגת ה-pH של 0.3-0.4 שוות ערך לעליה של 150% בריכוז יוני H⁺ ולירידה של 50% ביוני קרבונט CO_3^{2-} (Orr et al., 2005). כל עוד דרגת ה-pH של המים היא בסביבות 8.1 כ-90% מהפחמן האי-אורגני במים נמצא בצורת יוני ביקרבונט (HCO_3^-), 9% בצורה של יוני קרבונט (CO_3^{2-}) ורק 1% בצורה של פחמן דו-חמצני מומס במים (תמונה 18). הוספת פחמן דו-חמצני למי הים מעלה את ריכוז של הפחמן הדו חמצני המומס בהם (CO_2^{aq}), כתוצאה מכך התגובה הכימית נעה ימינה בכיוון שיווי המשקל החדש וריכוז יוני המימן במים עולה ביחד עם עליה בריכוז יוני ביקרבונט. עליה בריכוז יוני המימן מורידה את דרגת ה-pH שכן $\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$. כתוצאה מכך ריכוז יוני הקרבונט

במים **דווקא יורד**. אבל למה זה כך? הרי אם כל התגובות נעות לכיוון התוצרים היינו מצפים לעליה בריכוז יוני הקרבונט במים, אבל בגלל הבדלים בקבועי שיווי המשקל של התגובות הכימיות למעשה התגובה השלישית נעה לכיוון המגיבים ככל שהחומציות עולה ולכן ריכוז יוני הקרבונט קטן (תמונה 18).



תמונה 18: השפעת חומציות על ריכוז יוני פחמן במים. ככל שמידת החומציות של המים עולה כך יורד ריכוז יוני הביקרבונט הזמינים במים.

השלכות של ירידת ריכוז יוני הקרבונט במים

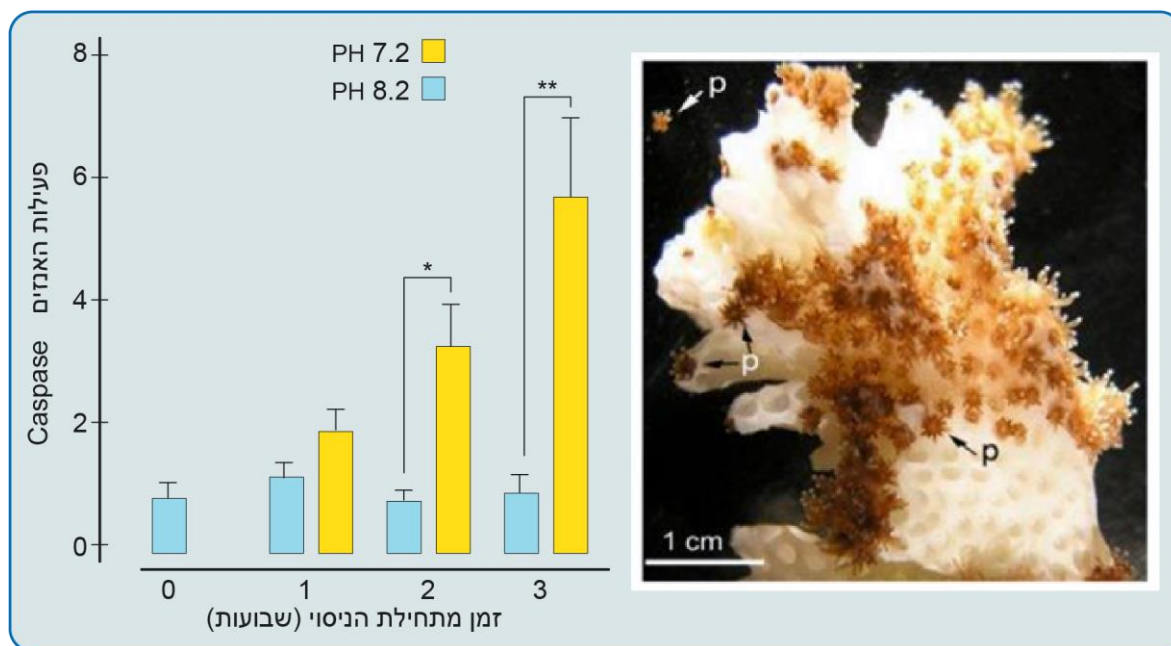
פחמן באוקיינוס נמצא בצורה של פחמן דו-חמצני מומס במים, יוני קרבונט ויוני ביקרבונט. כולם ביחד נקראים DIC (Dissolve inorganic carbon). יוני סידן (Ca^{2+}) בים נמצאים בעודף, ובשיווי משקל יונים אלה מגיבים עם CO_3^{2-} ליצור פחמת סידן ($CaCO_3$) שהוא המרכיב בשלד הגירני של יצורים רבים כמו אלמוגים, ויצורים פלנקטונים רבים. אנחנו יכולים לחשב את התנאים בהם תתרחש הרכבה של קלציום קרבונט על ידי חישוב מידת רוויה מי הים ביוני ביקרבונט, המתוארת ע"י ערך הקרוי אומגה (**משוואה 2**) כאשר אומגה גדול מ-1 התגובה תלך לכיוון התוצרים כלומר שיקוע של $CaCO_3$. כאשר אומגה קטן מ-1 התגובה תלך בכיוון המגיבים כלומר פירוק $CaCO_3$. עלייה בריכוז פחמן דן-חמצני, מורידה את ה-pH, ובהתאם ריכוז יוני CO_3^{2-} יורד גם כן. כתוצאה מכך יורדת מידת הרוויה של פחמת הסידן ($CaCO_3$) בפני השטח של המים, היכן שמתרחש רוב הייצור הראשוני באוקיינוסים. שכן במצב החדש יש מחסור ביוני קרבונט ולכן יש פירוק של השלד הגירני במקום יצירה שלו.

$$\frac{[Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}]}{CaCO_3} = \Omega$$

משוואה 2: מדד אומגה לתיאור מידת הרוויה של מי הים ביוני סידן וביקרבונט.

4.2 השלכות ביולוגיות של החמצת אוקיינוסים

אלמוגים הם חסרי חוליות השייכים למערכת הצורבים. מערכה זו כוללת בנוסף גם את המדוזות, שושנות הים והידרות. צורת המבנה הבסיסית של האלמוגים השונים היא פוליפ או מדוזה. הפוליפ בעל צורה גלילית לרוב מכיל את הפה וזרועות הציד ובדרך כלל הוא ישיב. המדוזה היא הצורה השוחה במים באופן חופשי. בין האלמוגים אנו מוצאים אלמוגים רכים שאינם מפרישים שלד גירני ואת אלמוגי האבן המפרישים שלד גירני. אלמוגי האבן חשובים מאד ליצירת מצע השונית עליו יתבססו מינים רבים של בעלי חיים וצמחים. בהתאם, אלמוגים אלה נקראים אלמוגים "בוני שונית". לפי עדויות ממחקר המאובנים, הועלתה השערה כי אלמוגי אבן יכולים להחליף את מבנה גופם ממבנה בעל שלד גירני למבנים רכים חסרי שלד גירני. השערה זו אומתה בניסויים בהם חשפו את אלמוגי האבן *Oculina patagonica* ו *Madracis pharensis* לתנאי pH נמוכים, כאלה הצפויים בתקופות של עליה בריכוז הפחמן הדו-חמצני. הכנסת אלמוג אבן לסביבה בעלת $\text{pH} = 7.2$ הובילה להפרדות של הפוליפים מגוף האלמוג ולעליה בפעילות האנזים קאספז שקשור לתהליך המוות התאי מתכונת. החזרה של האלמוגים לסביבה בעלת $\text{pH} = 8.2$ הובילה ליצירה מחודשת של הפוליפים המושבתיים ולירידה בפעילות האנזים קאספז (תמונה 19).



תמונה 19: א) פוליפים על אלמוג אבן. אזורים לבנים מייצגים שלד אלמוג שאיבד את הפוליפים. ב) פעילות האנזים קאספז בתנאי pH שונים. אפור – $\text{pH} = 7.2$ לבן – $\text{pH} = 8.2$

4.3 שיעורים ומשימות

4.3.1 שיעור 7 - החמצת אוקיינוסים

מהלך השיעור

במהלך השיעור התלמידים מתנסים בשתי דרכים לבחינת השפעת הוספת פחמן דו-חמצני על דרגת ה-pH של המים כאמצעי להדגמת תהליך החמצת האוקיינוסים. הפעילות מאפשרת גם שימוש באוגרי נתונים, איסוף נתונים וניתוח תרשימים.

בתום השיעור התלמיד ידע:

1. להסביר כיצד עלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה משפיעה על חומציות מי הים.
2. להסביר מדוע ובאיזה אופן, עליה בחומציות המים משפיע על יצורים בעלי שלד גירני העשוי קלציום-קרבונט.

ידע קודם:

1. היכרות עם נושא של חומצות ובסיסים.
2. הכרות עם תהליך הפוטוסינתזה והנשימה התאית והקשר ביניהם לצריכה או פליטה של פחמן דו-חמצני.

משך השיעור: 90 דקות.

דף מידע לתלמיד

חשיבותם של אלמוגים ויצורים פלנקטונים למערכת האקולוגית הנה משמעותית ביותר. למרות ששוניות אלמוגים מכסות פחות מ 0.1% מרצפת האוקיינוסים, הם מקיימות מעל ל 25% מהמינים בים. יצורים פלנקטונים במיוחד, מהווים את הבסיס לשרשרת המזון הימית, ולכן פגיעה בהם עלולה להיות הרסנית. שוניות אלמוגים, הן מהמערכות האקולוגיות המגוונות ביותר בכדור הארץ, העלייה בחומציות האוקיינוסים מאיימת לפגוע באלמוגים בוני השונית ובחלק מהיצורים הפלנקטונים משתי סיבות: הראשונה היא, שהשלד הפנימי של יצורים אלה מורכב מגיר (CaCO_3) שמתפרק בסביבה חומצית. הסיבה השנייה היא שבסביבה חומצית, קצב היווצרות השלד הגירני מלכתחילה הוא איטי יותר בצורה משמעותית.

ניסוי 1

לפניך חול שלא מכיל קלציום קרבונט, ואבקת אלמוגים (אפשר להשתמש כמובן בגיר). טפטף מספר טיפות של חומץ על כל אחת מהדוגמאות והתבונן במתרחש בעזרת זכוכית מגדלת או בינוקולר.

א. תאר את המתרחש.

ב. נסח את התגובה הכימית שהתרחשה באחת הכוסות.

ניסוי 2 – הדגמת שינוי pH של תמיסה כתוצאה מנשימת שמרים

1. לפניך 5 גרם של אבקת שמרים יבשים במבחנת זכוכית. הוסף

למבחנה 100 מ"ל מים פושרים וכפית סוכר.

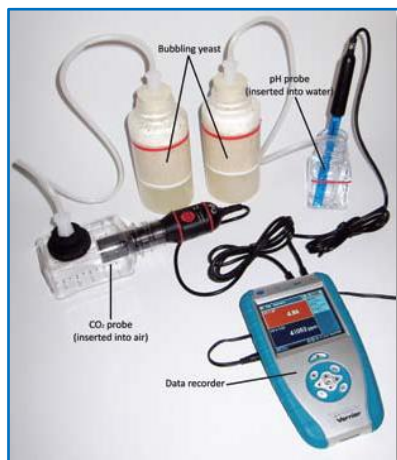
2. סגור את המבחנה בעזרת הפקק המיוחד שלתוכו הורכבה צינורית.

3. הכנס את אחת הצינורית לכוס כימית המכילה 100 מ"ל מים מזוקקים.

4. בעזרת מד pH, מדוד כל 5 דקות במשך 30 דקות, את השינוי ברמת החומציות של המים כתלות בזמן. (תזכורת: בעת תסיסת השמרים נפלט פחמן דו-חמצני כתוצר לוואי של תהליך הנשימה התאית).

5. ארגן את הנתונים בטבלה ותאר את המתרחש.

6. העבר את הנתונים לגיליון אקסל והכן תרשים המתאר את שינוי מידת חומציות המים כתלות בזמן.



הצעות נוספות למורה:

- א. המורה יפתח גיליון אקסל שיתופי וכל קבוצה תכניס את הנתונים שלה לגיליון השיתופי. לאחר מכן בעזרת שימוש בנתונים הכיתתיים, ידגים המורה לתלמידים את המשמעות של המושגים: שונות, ממוצע וסטיית תקן.
- ב. הכן כלי נוסף עם שמרים והכנס את הצינורית לכלי אטום שלתוכו חובר חיישן המודד ריכוז פחמן דו-חמצני באוויר. מדוד את השינויים בריכוז הפחמן הדו-חמצני בכלי כתלות בזמן.

ניסוי 3 – הדגמת שינוי pH של תמיסה בעזרת חומץ וסודה לשתייה.

חומרים

1. תמיסת 0.04% ברומותימול כחול.
2. כוסות חד פעמיות שקופות גבוהות.
3. כוסות חד פעמיות נמוכות מקרטון.
4. סלוטייפ
5. נייר לבן
6. טוש לסימון
7. אבקת סודה לשתייה
8. חומץ שני מכסים של צלחות פטרי

מהלך הניסוי

1. הוסף 50 מ"ל של תמיסת הברומותימול כחול לכל אחת מהכוסות הגבוהות שלפניך.
2. הוסף 2 גרם (חצי כפית) אבקת סודה לשתייה לכוס קרטון אחת.
3. הדבק את כוס הקרטון לדופן הפנימית של כל אחת מכוסות הפלסטיק. הקפד שהכוס לא תיגע באינדיקטור. (ראה תמונה).
4. הוסף 5 מ"ל חומץ לכל אחת מכוסות הקרטון. הקפד לא לשפוך חומץ לתמיסת האינדיקטור.
5. כסה מייד את שתי הכוסות בעזרת מכסה של צלחת פטרי.

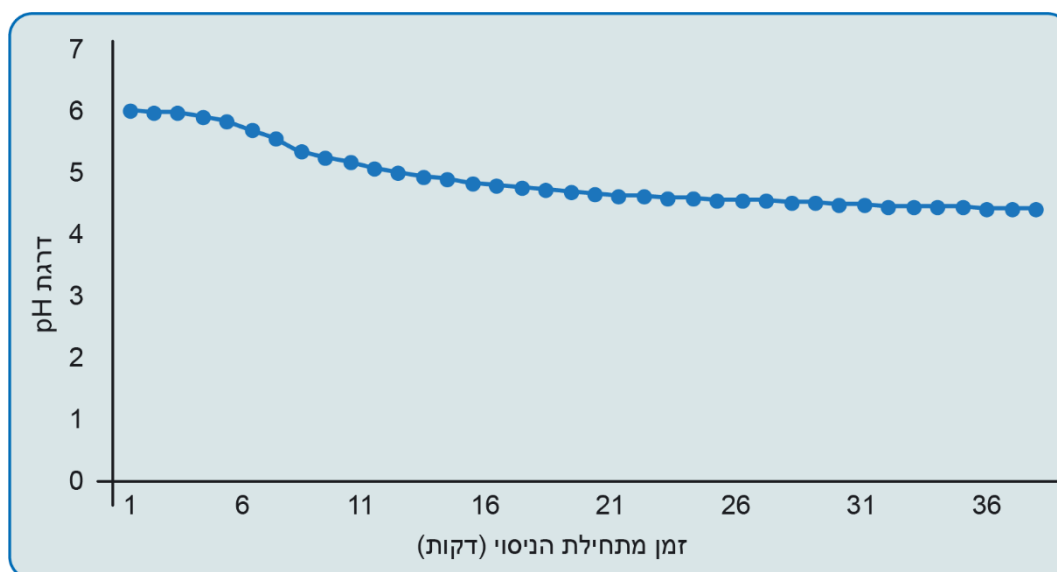
שיעור 7 - תוצאות למורה

ניסוי 1:

מטרת הניסוי הראשון היא להדגים בצורה הפשוטה ביותר פליטה של פחמן דו-חמצני במגע בין גיר לחומצה. כדי להמחיש לתלמידים שחומצה יכולה לפרק קלציום קרבונט. אפשר כמובן להשתמש בגיר לשם ההדגמה.

ניסוי 2:

בניסוי זה אנחנו רוצים להראות שפחמן דו חמצני שנפלט בתהליך נשימה תאית, יכול לעבור בדיפוזיה לכלי עם מים ולהשפיע על מידת החומציות שלהם. מהתוצאות שלנו עולה כי לאורך הניסוי ירד ה-pH של המים בערך בסדר גודל (תמונה 20).



תמונה 20: השפעת פחמן דו-חמצני על דרגת ה-pH של המים.



ניסוי 3: מטרת הניסוי היא להראות בצורה איכותית כיצד דיפוזיה של פחמן דו-חמצני משפיעה על חומציות המים. ניתן לראות את השינוי בצבע הכוסות כתלות בטמפרטורת המים לאחר 6 דקות מתחילת הניסוי.