

מעטפת פדגוגית לסרטון - מחזורי אקלים טבעיים

כתיבה והרצאה: ד"ר יוני גולדסמית ~ עריכת תוכן: טיאה לוי ושירה ליברטי עריכה מדעית: פורום האקלים

[מצגת ההרצאה](#) ~ [סרטון](#)

כתיבה: נירית לביא אלון, ייעוץ: שירה ליברטי

א. רקע

על מה מדברים בהרצאה?

✨ **תקציר:** האקלים של כדור הארץ משתנה בצורה מחזורית בין תקופות קרח לתקופות חמות. אז אולי ההתחממות העולמית של מאה השנים האחרונות היא התחממות טבעית? ד"ר יוני גולדסמית, חוקר מחזורי אקלים של כדור הארץ, מסביר איך נוצרים מחזורי אקלים טבעיים ומספר איך השתנה האקלים של כדור הארץ במאות אלפי השנים האחרונות. על בסיס ההבנה של התנהגות מחזורי האקלים הטבעיים של כדור הארץ ניתן לקבוע שההתחממות העולמית כיום אינה מחזור אקלים טבעי והדרך היחידה להסביר את ההתחממות היא כתוצאה מפעילות האדם.

למה מדברים על זה?

בין "מכחישי אקלים" יש כאלו המשתמשים בטענה שההתחממות הגלובלית היא תהליך טבעי ולא מעשה ידי אדם. בהרצאה זו ניתן להבין מהם התהליכים הטבעיים שאפיינו את כדור הארץ במאות אלפי שנים הקודמות ומדוע ההתחממות הגלובלית כיום אינה תהליך טבעי דומה. כדי להבין זאת עלינו להכיר ולהבין את מחזורי האקלים הטבעיים והשלכותיהם.

על מה מדברים בהרצאה? 🍷

ההרצאה בקליפת אגוז: ההרצאה מסייעת לנו להבין האם השינוי האקלימי החל היום הינו מהלך טבעי או מעשה ידי אדם. תחילה נכיר בכך שכל האנרגיה בכדור הארץ מקורה בשמש, ולכן באופן טבעי אם יש שינוי בטמפרטורה נחפש לכך הסבר בשמש... או לפחות בכמות הקרינה המגיעה לכדור הארץ. מסתבר שכמות הקרינה אינה קבועה והיא תלויה בשלושה פרמטרים. זווית ההטיה, צורת המסלול, וצורת הסיחרור של כדור הארץ, שמשתנה בהתאם לכוכבים השונים שמושכים אותו - השינוי מופיע במחזוריות קבוע (באופן דומה לעונות השנה הנוצרות בשל שינוי בכמות הקרינה של השמש אל האיזור שלנו על כדור הארץ ומשתנות בצורה מחזורית). לאחר הסבר מעמיק של שלושת המחזורים (המכונים מחזורי מלנקוביץ) נבין כיצד המחזורים הטבעיים הללו משנים את כמות הקרינה שמגיעה לכדה"א ואת הטמפרטורה של כדור הארץ. מסתבר שאין די בשלושת המחזורים להסביר את השינוי שאנו רואים בהיסטוריה הגיאולוגית. אומנם יש דימיון בתזמון, אבל שוני במגמות. אם כך חסר לנו גורם נוסף שיוצר את המגמה - ד"ר גולדסמית

מציע את משוב הפחמן הדו חמצני ומשוב הקרח כמשובים שיש להם את הפוטנציאל להעצים את ההשפעה של קרינת השמש. ד"ר יוני גולדסמית מסביר כיצד ניתן לבחון את המשובים האלו - הוא משווה את השינוי בטמפרטורת הים העמוק (שמשוחזר בכלים גיאוכימיים) לשינוי בריכוזי הפד"ח האטמוספרי (שמשוחזר ע"י בחינת בועות אוויר כלואות בגלעיני קרח) ואת מפלס פני הים הקדום (שמעיד על מעבר בין תקופות חמות בהן יש המסה של קרח, לתקופות קרות בהן יש היווצרות של קרח). התוצאות מלמדות על דמיון בין הטמפרטורה הגלובלית למשובים - בתקופות חמות ריכוז הפד"ח באטמוספירה הוא גבוה ומפלס הים גבוה. השינויים במשובים הללו לאורך זמן דומים גם לשינויים בכמות הקרינה אולם ההשפעה העיקרית על עוצמת שינויי הטמפרטורה היא של המשובים של ריכוז הפד"ח והקרח. בשלב האחרון, נבדק ריכוז הפד"ח באטמוספירה בתקופות חמות של המחזוריים הטבעיים ונמצא שהריכוז היה נמוך באופן משמעותי בהשוואה להיום. לפיכך המסקנה המתבקשת היא שריכוז הפד"ח הנוכחי באטמוספירה הוא אינו תוצאה של מחזור טבעי של כדה"א אלא מעשה ידי אדם - שריפת דלקים מאובנים. (מ.ש.ל).

מושגים בסרטון: מחזוריים טבעיים; משוב, משוב הפחמן הדו חמצני, משוב הקרח.

מתי ניגש להרצאה זו?

הרצאה זו מתאימה בכל שלב בו מתעוררים ספקות לגבי אחריות האדם לתוצאה של שינוי האקלים והעלאת טיעונים שמדובר במחזוריים טבעיים של כדור הארץ, או כאשר דנים בתופעת הכחשת אקלים ובטיעונים של מכחישי אקלים. יש להציג את הסרטון רק לאחר למידה של מושגי בסיס כמו גזי חממה, ריכוז פד"ח באטמוספירה, ppm, קרינת השמש.

ב. העשרה והוראה משלימה

העמקה במושגים מדעיים מרכזיים



הרצאה זו עמוסה במושגים והסברים מורכבים. כדאי לעצור ולהתעמק על מנת להבין כל מושג לעומק לפני שממשיכים למושגים הבאים הנסמכים על הבנת קודמיהם. עלינו להיות רגישים מאוד לבדיקת ההבנה של הלומדים. כאן תוכלו למצוא הרחבה וביסוס של הידע. אנחנו ממליצים מאוד להיעזר ב**מצגת של הסרטון** על מנת לעצור ולהבהיר לתלמידים את נושאי הסרטון.

חומרי העשרה נוספים לנושא זה: [How Earth's Climate Cycles Work](https://www.youtube.com/watch?v=HowEarth'sClimateCyclesWork) (חמש דקות, תרגום אוטומטי)

מחזוריים טבעיים - שלושה מחזוריים טבעיים של כדה"א (מחזורי מלנקוביץ): 1. מחזור המושפע מסיבוב כדה"א סביב השמש (הבחנה בין סיבוב אליפטי לסיבוב עגול הנובע מכוחות משיכה מנוגדים של כדה"א ע"י השמש מצד אחד וכוכבי הלכת מצד שני) מתרחש כל 100 אלף שנה. 2. מחזור המושפע משינויים בזווית

הנטיה של כדה"א (בגלל משיכה מנוגדת של השמש וכוכבי הלכת) המתרחש כל 41 אלף שנה. 3. מחזור המושפע מסחרור כדה"א סביב עצמו, (בגלל הפרשים בין רוחב לגובה של כדה"א) המתרחש כל 20,000 שנה.

משוב (feedback) או היזון חוזר - משוב הוא מצב בו תוצאה של פעולה מסוימת תשפיע על המשך ההתרחשות של הפעולה. נהוג לחלק את המשובים לשני סוגים: משובים מְכַנְסִים או מאזנים המכונים במדע משוב שלילי ומשובים מאיצים/מרחיקים מאיזון המכונים משובים חיוביים. המשובים המכנסים - מחזקים את המגמה של איזון במערכת. לדוגמה: עלייה בטמפרטורה מגדילה את האידוי מפני השטח ומקורות מים, כתוצאה מכך כיסוי העננים עולה. כיסוי עננים גבוה יכול להפחית את קרינת השמש הנכנסת ולהוריד את הטמפר' על פני הקרקע. לעומתם "משובים מאיצים", נחשבים כאלו המרחיקים את המערכת מאיזונה, ומעצימים תהליכים. לדוגמה: כאשר טמפרטורת פני השטח עולה באיזורים בהם יש קרח או שלג, חלק מהקרח והשלג נמסים ותחתם נחשפת קרקע כהה ורטובה. קרקע זו סופחת יותר חום מאשר משטח השלג שקדם לה, מה שמוביל לעלייה בקרינת השמש הנספגת ולהגברת התחממות פני השטח. תהליך המניע שינוי שמתעצם או נחלש ובסופו גורם לשינוי גדול או להעלמות התהליך שיצר אותו, משוב שלילי - כזה המעצים ומוביל לשינוי גדול. דוגמה: שינוי של כמות הקרינה שמגיעה מהשמש (הפרה של המערכת) משפיעה על הקרח ועל ריכוז הפד"ח באטמוספירה וגורמת להתחממות הטמפר' (הפרעה גדולה במערכת).

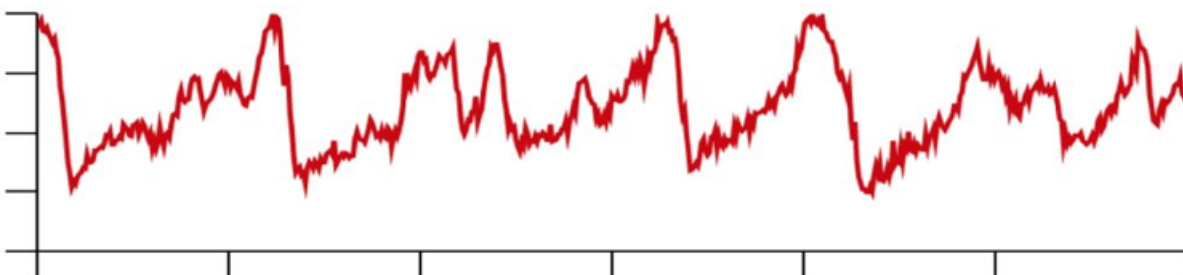
משוב הפחמן הדו חמצני - השמש גורמת לשינוי בקרינה: יותר קרינה < המסת קרח > התכווצות הקרחונים < התחזקות זרמי האוקיינוס > השתחררות פד"ח ממעמקי הים לאטמוספירה < התחממות האטמוספירה > ואז תהליך חוזר ומתעצם: המסת קרח < התחזקות זרמי האוקיינוס > שחרור פד"ח < התחממות הטמפרטורה. תיעוד השינוי בטמפרטורה של כדה"א דומה מאוד לתיעוד השינוי של ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה: בתקופות חמות יש הרבה פחמן דו-חמצני באטמוספירה ובתקופות קרות יש מעט פחמן דו-חמצני.

משוב הקרח - כמות הקרח משפיעה על כמות הקרינה החוזרת ולכן משפיעה על טמפרטורת כדה"א: כשיש הרבה קרח, הרבה מהקרינה שמגיעה מהשמש מוחזרת לחלל ולא נבלעת בכדור הארץ. כשיש מעט קרח, הרבה מאוד מהקרינה נבלעת בכדור הארץ. לכן כמות הקרח בכדור הארץ חשובה לקביעה של הטמפרטורה בכדור הארץ. שחרור כמות הקרח נעשית באמצעות שחרור מפלס הים: בתקופות קרות המים מתאדים מהאוקיינוס, הופכים לשלג ומצטברים על היבשה, כלומר כשיש הרבה קרח, מפלס הים נמוך, וכשיש מעט קרח, לאחר שהוא הומס הקרח חוזר לים ומפלס הים גבוה.

הצעות לפעילות

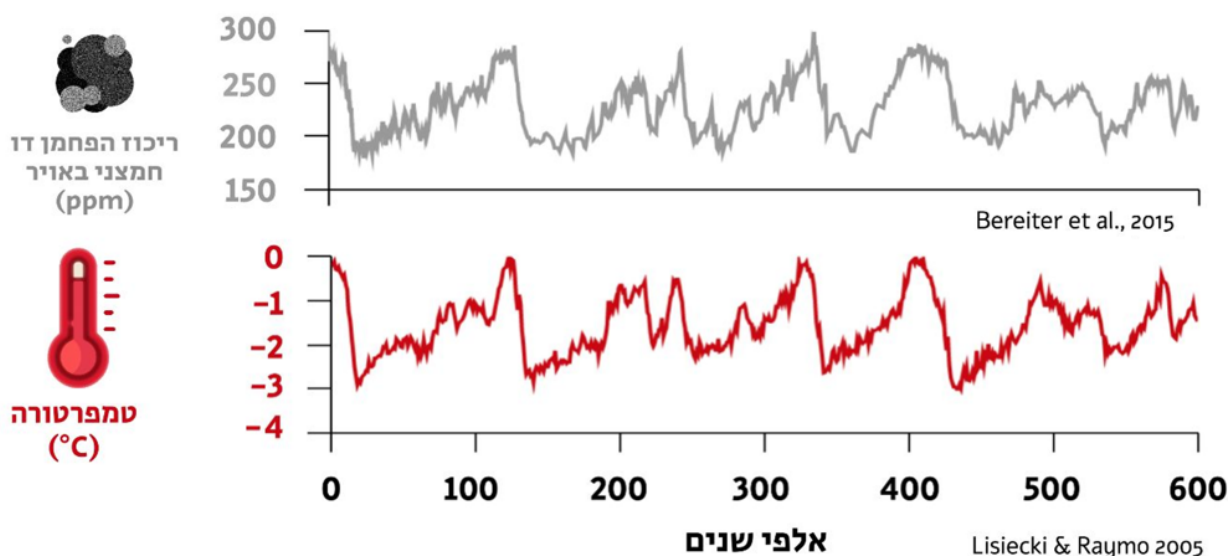
1. השינויים המחזוריים הטבעיים בכדור הארץ

אנו מציעים לפתוח בפעילות להבנת המושג מחזוריות וליצירת סקרנות ועניין לפני הקרנת הסרטון. נציג לתלמידים את הגרף הזה



נשאל מה רואים בגרף? בגרף רואים מחזוריות של תופעה החוזרת בדגם דומה למדי: ירידה חדה לנקודת שפל, עלייה הדרגתית לנקודת שיא ושוב ירידה חדה וחוזר חלילה.

נבקש מהתלמידים להעלות השערות - איזו תופעה מחזורית מוצגת בגרף? לאחר שיינחשו נציג את הגרף הבא:



נסביר לתלמידים שהגרף מציג מחזוריות המתרחשת כל מאה אלף שנים בקירוב ומציגה גם שינויים בטמפרטורה של כדה"א וגם שינויים בריכוז הפחמן הדו חמצני באטמוספירה לאורך הזמן. נשאל האם לדעתם מחזורים אלו הינם טבעיים? מה לדעתם גרם לשינויים אלו? נסביר שכעת נצפה בסרטון המסביר את הגורמים למחזורים הטבעיים של כדה"א והשלכותיהם. נסביר כיצד ניתן לחזות את טמפרטורת העבר - מדענים יכולים לשחזר טמפרטורה וגם ריכוז פד"ח אטמוספרי מן העבר הרחוק של כדה"א. באנטארקטיקה ובגרינלנד יש תחנות מחקר שם קודחים לתוך הקרח ומוציאים גלעיני קרח בהם נלכדו בועות אוויר עתיקות אשר משמרות את

ההרכב האטמוספירי ההיסטורי, כולל ריכוז פד"ח. אנליזה כימית של מים עתיקים בגלעיני הקרח מאפשרת למדענים להעריך את הטמפרטורה ששררה באותו הזמן. שיטות נוספות מאפשרות לקבוע את גיל הקרח וכך ניתן לשחזר את ריכוזי הפד"ח והטמפרטורה מהעבר הרחוק של כדה"א.

מיומנויות בפעילות: אוריינות מדעית: הסבר מדעי של תופעות, פרשנות מדעית של נתונים וראיות.

2. דגם כדור הארץ

פעילות זו מיועדת להבנה מעמיקה של הגורמים למחזורי הטבעיים של כדה"א ע"י התנסות בהדגמה. נזמין את התלמידים (אפשר בקבוצות) לבנות דגם של כדור הארץ ושל השמש באופן שיוכלו להדגים בעזרתו את שלושת המחזורי הטבעיים של כדה"א - סיבוב כדה"א סביב השמש, שינויים בזווית הנטיה של כדה"א, סחרור כדה"א סביב עצמו.

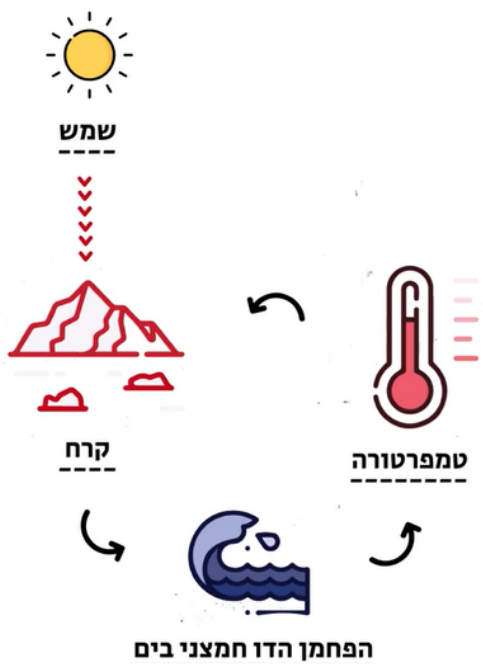
את הדגם ניתן לבנות בחומרי יצירה (כמו קלקר, פלסטלינה, שיפודים) ו/או חומרים בשימוש חוזר.

מיומנויות בפעילות: אוריינות מדעית: הסבר מדעי של תופעות, פרשנות מדעית של נתונים וראיות. התנהלות חברתית: עבודת צוות.

3. משובים

פעילות זו מיועדת להבנה של תהליכי משוּב. אנו מציעים לאפשר לתלמידים התנסות חווייתית בבניית מערכות מורכבות שימחישו את התופעה של משוּב. לשם כך הציגו להם את ההסבר למושג, למשל את הקטע בסרטון המתייחס להסבר (דקה 6:40 - 7:30) ובקשו מהם לבנות מערכות מורכבות שיראו איך הפרעה קטנה גורמת להפרעה גדולה (אפשר בקבוצות). ככל שיש לכם זמן לאפשר להם למידה של הנושא, בקשו שיתייחסו בדגם שייבנו לדוגמאות קונקרטיות של משוּבים כמו הפרשת הורמונים בגוף האדם אשר מווסתת ע"י משוּבים, משוּבים שמשפיעים על כושר נשיאה של מערכת מווסתים את גודל האוכלוסיה, תמרוץ עובדים ע"י תגמולים שגורמים להגברת העבודה, חימום מים בדוד בהתאם לתרמוסטט ועוד. אפשר לשלב אבני דומינו וחומרים בשימוש חוזר. לחילופין אפשר להשתמש בסרטונים חביבים המציגים את הרעיון כמו [אלו: כנפי דומינו קטנות, דומינו גולשים, Domino World](http://DominoWorld.com)

[2019](http://DominoWorld.com).



לבסוף נסביר את תהליכי המשוב המשפיעים על המחזוריים הטבעיים בכדה"א המוצגים באיור שלעיל.

מיומנויות בפעילות: אוריינות מדעית: הסבר מדעי של תופעות, פרשנות מדעית של נתונים וראיות. חשיבה יצירתית: סקרנות ומקוריות, יצירת הקשרים חדשים. התנהלות חברתית: עבודת צוות.

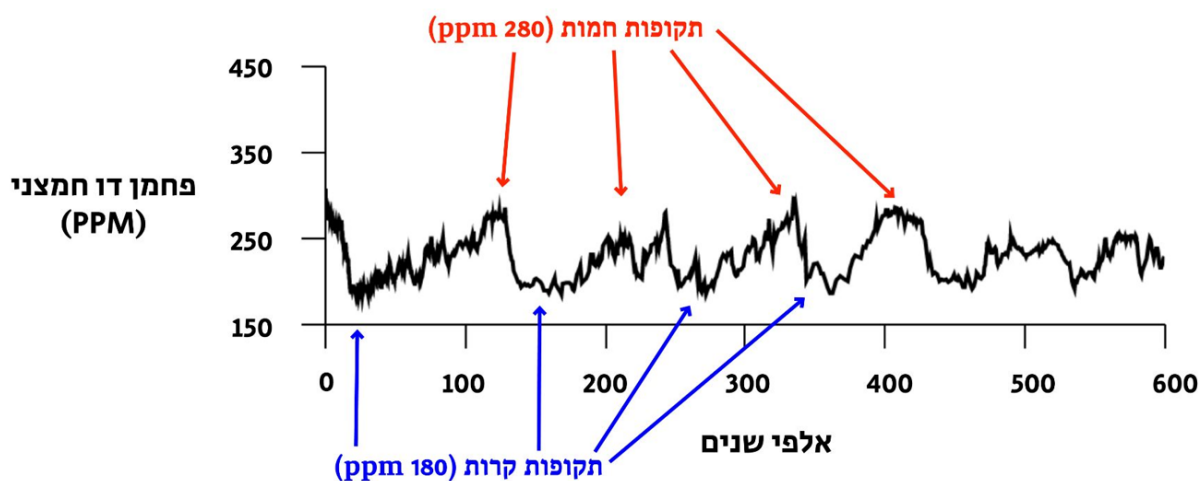
4. השוואה בין המחזוריים הטבעיים של כדה"א למצב היום

לאחר שהבנו את המחזוריים הטבעיים ואת המשובים שהשפיעו על הטמפרטורה של כדור הארץ, נבקש מהתלמידים לעיין בגרף המוצג בסרטון (דקה 12:15). נעצור את הסרטון ונשאל מהו ריכוז הפד"ח הנוכחי באטמוספירה? אפשר לבקש מהתלמידים לאתר את הנתון באינטרנט למשל ב[אתר של NASA](https://climate.nasa.gov), או באתר [our.world in data](https://our.worldindata.org).

נשאל מה ניתן ללמוד מכך שהריכוז הנוכחי (ppm 413) גבוה בכמעט 50% מריכוז הפד"ח באטמוספירה שמאפיין את התקופות החמות (ppm 280)? נתון זה מלמד אותנו שריכוז הפד"ח הנוכחי אינו מושפע רק מהמחזוריים הטבעיים של כדה"א אלא מגורם אחר.

נשאל מהו הגורם שעשוי להשפיע על הריכוז הנוכחי הגבוה של הפד"ח באטמוספירה? כמובן שמדובר בהתערבות האנושית שהגדילה את ריכוז הפד"ח כתוצאה משריפת דלקים מאובנים. נמשיך את הקרנת הסרטון לקבלת התשובה המלאה וההסבר לפיו הטמפרטורה הנוכחית של כדה"א לא תואמת את השפעת הקרינה על הטמפרטורה כפי שמצופה במחזור טבעי של כדור הארץ אלא גבוהה בהרבה מאוד.

מחזור טבעי של פחמן דו חמצני נע בין ppm 180 בתקופות קרות ל-ppm 280 בתקופות חמות



Bereiter et al., 2015 (Data from: NOAA)

מיומנויות בפעילות: אוריינות לשונית: איתור מידע. אוריינות מדעית: הסבר מדעי של תופעות, פרשנות מדעית של נתונים וראיות.

לאן ניתן להמשיך לאחר הרצאה זו?

- ☐ על מנת להשלים את המידע בהרצאה זו מוצעים שני סרטונים שירחיבו את הלמידה:
 - א. [עליית מפלס הים - תצפיות מהעבר והשלכות על כדור הארץ | פרופ' מוטי שטיין](#)
 - ב. [מי אחראי לעליית הפחמן הדו חמצני באטמוספירה? | ד"ר אורי ריב](#) לסרטון זה פותחה [מעטפת פדגוגית שנמצאת באתר בידינו](#).
- ☐ פעילות נוספת בדגש הכחשת אקלים: מערך שיעור על היבטים שונים של השיטה המדעית ומשמעות המדע בהקשר של שינוי האקלים בעידן הפוסט-אמת [איך מתמודדים עם הכחשת שינויי אקלים](#).