

מודל לחיזוי אקלים - התנסות בהדמיה

הקדמה למורה:

מודלי אקלים הם חלק מרכזי ובלתי נפרד מחקר אקלים כדה"א. מודלים הם כלי מחקרי אשר עוזר למדענים להבין את מערכת האקלים בעבר הרחוק, בהווה וגם לגבש תחזיות לגבי האקלים העתידי. מודלי האקלים של כדור הארץ הם מודלים כמותיים שמתארים בעזרת משוואות את התהליכים ואת יחסי הגומלין אשר מניעים את מערכת האקלים. המודל הפשוט ביותר מתייחס לכדור הארץ כנקודה הקולטת ומחזירה חום (מאזן אנרגיה פשוט). מודלים מורכבים יותר יבטאו את מעברי האנרגיה (אנרגיית קרינה / חום) קרינה תת-אדומה וכו'... ומעברי החומר (כגון פחמן במחזור הפחמן) בין האטמוספירה, האוקיינוסים, הקרקע והקרחונים. מודלי אקלים מבוססים על תהליכים פיזיקליים, כימיים וביולוגיים במערכות כדה"א. עם השנים המודלים הולכים ונהיים מורכבים ומדויקים יותר הודות למספר גורמים: חקר האקלים בעבר הגיאולוגי של כדור הארץ; הבנה עמוקה יותר של הגורמים ושל התהליכים המשפיעים על האקלים; שיפור בכוח המחשוב. חשוב לזכור שמודלי אקלים אינם מושלמים ואינם "המציאות", אלא קרובים למציאות. בשיעור נשים דגש על השימושים במודלים ובפרט כיצד התחזיות של המודלים משתנות בתרחישים שונים של פליטת גזי חממה.

בפתיחת השיעור נערוך היכרות עם מודלים - נגדיר מהו מודל, נבין את המורכבות בבניית מודלים ונדון בשימושים של מודלי אקלים. בגוף השיעור נתנסה במודל פשוט בו התלמידים יכולים לשנות גורמים שונים, כגון - עננות או פליטת פד"ח, ולראות מה ההשפעה על טמפרטורה. בסיכום נצפה בסרטון ונדון ביתרונות ובמגבלות של מודלי אקלים. בתום השיעור התלמידים ידעו לתאר מהו מודל ויבינו מה החשיבות של מודלים במובן של שינוי האקלים.

למידע נוסף כנסו [לאתר וויקי](#) בעברית.

פעילות זו מתוך יחידת הוראה [מבוא לשינוי האקלים](#), שיעור 6 (פיתוח: ד"ר נירית לביא אלון, ד"ר הגר ליס, מרכז בידינו)

משך השיעור: 60-90 דקות

מושגים: מודל מדעי, מודל לחיזוי אקלים, אלבדו

מיומנויות בשיעור: אוריינות מדעית - הסבר מדעי של תופעות, פרשנות נתונים וראיות

פתיחה לשיעור:

למורה: בפתיחה לשיעור נעשה היכרות עם מודלים באופן כללי ומודלי אקלים בפרט. שימוש במודלים אינו מוגבל לעולם המדע ואנו מכירים דוגמאות רבות כגון מודלים לכלכלה או להתפשטות של מחלות. לאחר הגדרה בסיסית, נתחיל במודל מוכר לכולם מחיי היום יום - מודל מזג האוויר. חשוב להדגיש שוב בפני התלמידים את ההבדל בין מזג אוויר לאקלים (הוזכר ביחידת המבוא בשיעור 2). משם נעבור למודלי אקלים, נבין מה תפקידם וכיצד מדענים מרכיבים ומריצים מודלים לאקלים. ניתן לנהל את הפעילות כדיון ואז לחלק את הכיתה לקבוצות. נציג שאלה אחת, כל קבוצה תערוך דיון בין חברי הקבוצה ולאחר מכן יערוך דיון בכיתה לגבי אותה השאלה. לבסוף, נעבור לשאלה הבאה, או לחילופין לדף לעבודה עצמית (נספח 1).

שאלות לדיון ותשובות למורה:

1. כולנו שמענו את המונח מודל במהלך חיינו. מהו מודל? האם תוכלו לחשוב על כמה דוגמאות?

מודל הוא ייצוג של מערכות מורכבות או תהליכים מורכבים. מודל הינו מערכת פשוטה יחסית המדמה במאפייניה החשובים מערכת מסובכת יותר. חשוב להדגיש שמודל הינו קירוב של המציאות ולא המציאות כולה. במדע מודלים הם כלי רב עוצמתי שמסייע לנו להבין ולהסביר תהליכים וגם לעשות תחזיות לעתיד. מודלים יכולים וויזואליים (למשל איורים או תרשימי זרימה), מודל פיזי (מודל של גוף האדם, תא או כדה"א למשל), או הדמיה אשר מתארת את המציאות באמצעות מערכת משוואות.

דוגמאות: מודל כלכלי, מודל פסיכולוגי, מודל התנהגותי, מודל של כיצד פועל בית ספר או מפעל, מודל סטטיסטי, מודלים של גוף האדם או כדה"א, מודל של מבנה האטום/מולקולות, מודל של התפשטות תחלואה וכו'.

2. הטיול השנתי מתוכנן לשבוע השני של חודש דצמבר. ההכנות לטיול מתחילות והתלמידים מתרגשים. עשרה ימים לפני תאריך היציאה תחזית מזג האוויר צופה גשם. מנהל בית הספר רוצה לשלוח לתלמידים ולהורים הודעה על ביטול הטיול. סגנית המנהל חולקת עליו וממליצה להמתין עם הודעת הביטול ולבדוק שוב את התחזית בעוד כמה ימים. עם מי אתם מסכימים? מדוע?

כולנו יודעים שתחזית מזג האוויר יכולה להיות שגויה. הסיכויים לחוסר דיוק גדלים כאשר מנסים לתת תחזית לטווח הרחוק. לכן, לא כדאי לסמוך לחלוטין על תחזית שניתנת עשרה ימים מראש וכדאי להמתין ולבדוק שוב יותר קרוב למועד הטיול. תחזית מזג אוויר נחשבת לאמינה בטווח של פחות משבוע מראש.

* חשוב להדגיש שהסיבה לחוסר הדיוק נעוצה בכך שמערכת מזג האוויר היא מאוד דינמית ולא סדירה ולכן קשה לצפות אותה.

3. כדי לחזות מזג אוויר, מטאורולוגים (מדענים שחוקרים מזג אוויר) משתמשים בהדמיות שבעזרתן ניתן לצפות את השינויים במזג האוויר עם הזמן. הדמיות אלו הן למעשה מודלים. מהו, לדעתכם, מודל בהקשר זה?

מודלים עוזרים לנו להבין כיצד דברים פועלים. מודל מייצג את האינטראקציה בין רכיבים שונים במערכת בצורה כזו שניתן להשתמש בו כדי לחזות תרחישים שונים בהתאם לשינויים באחד או יותר ממרכיבי המערכת. מודלים נחוצים כאשר המערכת הנלמדת גדולה או מורכבת מידי בשביל לבדוד כל רכיב ולהבין כיצד הוא משפיע על מרכיבים אחרים במערכת. ניתן להשתמש במודלים כדי לעשות תחזיות או כדי להסביר תצפיות.

כדי לעשות מודלים לחיזוי מזג אוויר מדענים מכניסים את הנתונים האטמוספריים (לחץ אוויר, טמפרטורה וכדומה) לתוך משוואות מתמטיות אשר מתארות את ההשפעה של גורמים שונים על מזג האוויר. מריצים את המודל על מחשב (בדרך כלל מדובר על מחשב עם יכולת עיבוד מאוד גבוהה) וניתן להציג את הנתונים המתקבלים בצורת מפה סינופטית המציגה את המצב החזוי למועד מסוים.

4. אחת מהטענות של מכחישי שינוי אקלים היא - אם מודלים אינם יכולים לחזות מדויק את מזג האוויר בשבוע הבא, כיצד ניתן להשתמש במודלים לחזות את האקלים בעוד 50 שנה? כיצד הייתם עונים לאותם המבקרים? בתשובתכם התייחסו להבדלים שבין מזג אוויר לאקלים.

מזג האוויר מתייחס לתנאים יומיומיים של טמפרטורה, משקעים, כיוון הרוח ועוצמתה וכדומה. לעומת זאת אקלים מתייחס לטמפרטורה ממוצעת או ממוצע המשקעים לאורך זמן באזור מסוים (או בכדה"א כולו). לפיכך מודלי מזג אוויר פועלים בממדים של שעות עם נתונים מקומיים, כך למשל ניתן תחזית לגשם באזור ירושלים למחרתיים. לעומת זאת, מודלי אקלים פועלים על קנה מידה גדול יותר הן בזמן והן במרחב, ונותנים תחזיות בטווח של שנים. מזג האוויר יכול להשתנות מהיום למחר עקב שינויים מקומיים קטנים אבל כיוון שאקלים מתייחס לערכים ממוצעים - הוא פחות מושפע מתנודות קטנות.

*הערה : ניתן להשוות את המודלים להטלת קובייה או מטבע. בהטלה אחת (מזג אוויר) קשה לחזות מה יצא. אבל ניתן לחזות את הסיכוי שיצא מספר מסוים בקובייה או צד מסוים במטבע (אקלים).

5. מודלי אקלים מורכבים ממשוואות מתמטיות מורכבות, המתארות את התהליכים המתרחשים במערכת האקלים. מודלי אקלים דורשים כח חישובי עצום והם רצים על מחשבי-על (supercomputers). כיצד, לדעתכם, מודלים כאלו יכולים לשמש אותנו בהקשר לשינוי האקלים?

למודלי אקלים יש מגוון שימושים :

*מעמיקים את ההבנה שלנו של מערכת האקלים. מדענים מחליטים אילו גורמים לכלול במודל וכיצד אותם הגורמים ישפיעו על האקלים. ניתן "לשחק" עם המודל ולבחון האם וכיצד גורמים שונים משפיעים על מערכת האקלים. האם, למשל, נוכל לחזות באופן מדויק את האקלים שהיה בעבר באמצעות המודל שלנו (מה שמכונה חיזוי לאחור - hindcasting או backtesting). בודקים את התחזיות של המודל אל מול נתוני אמת מהעבר וכך ניתן לבחון את מידת ההבנה שלנו במערכת ואת אמינות המודל.

*יכולת חיזוי - מודלים יכולים לתת לנו תחזיות עתידיות בתרחישים שונים. למשל ניתן להריץ מודל בו פליטות פד"ח לאטמוספירה קטנים ב-50% ולבדוק מה יקרה לטמפרטורות.

*עוזרים למקבלי החלטות - בזכות היכולת שלהם לחזות תרחישים עתידיים, מודלים מסייעים בתכנון אסטרטגיות להתמודדות עם שינוי האקלים.

6. כפי שלמדנו, אחד מהשחקנים המרכזיים בהתחממות גלובלית ושינוי האקלים הינו גז החממה - פחמן דו-חמצני. אתם מפתחים מודל אקלים ורוצים לכלול בו את הגורמים אשר משפיעים על ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

א. ערכו רשימה של גורמים אלו ומה הקשר של כל גורם לריכוז פד"ח באטמוספירה.

ב. ערכו דיון כיצד כל גורם ברשימה שלכם ישתנה בעתיד לאור ההתחממות הגלובלית ושינוי אקלים.

הערה למורה לגבי השאלה: מטרת השאלה היא להמחיש את המורכבות הרבה של מערכות אקלים תוך כדי חזרה על החומר שנלמד בשיעורים 3 עד 5. נסביר לתלמידים שבמודל מכניסים את כל אחד מהגורמים האלו בתוך משוואה אשר מתארת את הקשר בין אותו גורם לבין ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

ניתן לחלק את הגורמים אשר משפיעים על ריכוז פד"ח באטמוספירה למקורות (גורמי פליטה) ולמבלעים (גורמי סילוק) :

מקורות	מבלעים
בעירת דלקים פוסילים - שינוי בעתיד תלוי בהרבה מאוד גורמים כגון גדילה באוכלוסיית העולם, רמת החיים של אוכלוסיית העולם, מדיניות של הקטנת פליטות, פיתוח ושימוש באנרגיות מתחדשות וכו'...	פוטוסינתזה - האם קצב הפוטוסינתזה בעתיד יגבר או יפגע? אולי עלייה בפד"ח וטמפרטורות יעודדו יצירות ראשוניות. לחילופין עלייה בטמפרטורות וירידה במשקעים יכולים לפגוע ביצורים ראשוניים. כריתת יערות יכולה לפגוע בקיבוע פחמן העולמי.
נשימה תאית - ראו דוגמה על קפאת-עד.	הים סופג פד"ח. אבל התחממות הים יכולה לגרום לירידה בכמות הפד"ח שיכול להתמוסס בתוכו.
* (העשרה) הפשרה של קפאת-עד (permafrost) - אדמה שנמצאת מתחת לטמפרטורת הקיפאון. כאשר	

	קרקע קפואה עוברת הפשרה, פעילות חיידיקית מתחדשת (וגם נשימה תאית ותהליכי ריקבון) - משחרר פד"ח לאטמוספירה. למידע נוסף בנסו לכתבה של מכון דוידסון.
--	--

7. פד"ח אטמוספרי הינו גורם עיקרי בהתחממות גלובלית אך הוא אינו הגורם היחיד אשר משפיע על טמפרטורות ממוצעות בעולם. הציעו גורמים נוספים שכדאי לקחת בחשבון בבניית מודל אקלים של טמפרטורות.

הערה למורה: המטרה של השאלה היא להבין את המורכבות הרבה אשר כרוכה בבנייה של מודלי אקלים. למרות שפד"ח גורם מרכזי בהתחממות, יש מגוון גורמים נוספים שצריך לקחת בחשבון (ראו חלופה 2, שיעור 4). אין צורך להעמיק בנושאים שפחות מוכרים למורה או לתלמידים.

יש מגוון גורמים נוספים שיכולים לעודד את תהליך ההתחממות וגם גורמים שיכולים להאט את ההתחממות *קרבא של כדה"א לשמש. יש שינויים במסלול כדה"א סביב השמש וגם נטיית ציר הסיבוב של כדה"א. שינויים אלו יכולים לשנות את כמות אנרגיית האור המגיעה לכדה"א. (שיעור 4)

* הטמפרטורה הממוצעת מושפעת מהסעת חום ע"י רוחות וע"י זרמים בים. שינויים במשטר הרוחות או בזרמי הים יכולים לשנות אקלים. מידע נוסף: כתבה באתר של הידען על זרמי ים, או סרטון על מערכת האקלים (אנגלית, 4 דקות).

*עננים: לעננים יש השפעה מקררת על כדה"א כיוון שהם חוסמים ומחזירים חלק מאנרגיית השמש בחזרה לחלל.

* כיסוי קרח - משטחי כדה"א אשר מכוסים בקרח הינם לבנים וכן מחזירים יותר אור בחזרה לחלל ומאטים את תהליך ההתחממות. אבל כאשר הטמפרטורות עולות, הקרח נמס ונחשפת קרקע כהה אשר סופגת יותר קרינה וגורמת ליותר חימום.

גוף השיעור:

פעילות זו מבוססת על הדמיה בה ניתן לראות את ההשפעה של גורמים שונים על הטמפרטורה (הגורמים: ריכוז פד"ח, עוצמת השמש, אלבדו ועננות). בצורה זו התלמידים לומדים "hands-on" על תהליך המידול של אקלים כדה"א (כמובן באופן בסיסי). תלמידים יכולים לעבוד בקבוצות קטנות. (נספח 2 - דף הנחיות לתלמידים + תשובות למורה)

סיכום:

נערוך עם התלמידים דיון על חשיבותם של מודלי אקלים.

- כלי להבנה של מערכות מורכבות כמו האקלים. אפשר לעשות חיזוי לאחור ולראות האם מודל מסוים מדויק. אם לא, ניתן לשפר אותו (ע"י שינוי/הוספה של המשוואות שמתארות את המערכת). כך ניתן להבין מהם הגורמים אשר משפיעים על מערכת האקלים ומה מידת השפעתן.
- כלי לתחזיות האקלים העתידי: חשוב מאוד לקבלת החלטות מדיניות וכלכליות וגם לתכנון אסטרטגיות להתמודדות עם שינוי האקלים.
- מודלי אקלים מראים לנו מה מידת ההשפעה של פעילות האדם על מערכת האקלים.

נספח 1 - דף לתלמיד - מהו מודל אקלימי?

1. כולנו שמענו את המונח מודל במהלך חיינו. מהו מודל? האם תוכלו לחשוב על כמה דוגמאות?
2. הטיול השנתי מתוכנן לשבוע השני של חודש דצמבר. ההכנות לטיול מתחילות והתלמידים מתרגשים. עשרה ימים לפני תאריך היציאה תחזית מזג האוויר צופה גשם. מנהל בית הספר רוצה לשלוח לתלמידים ולהורים הודעה על ביטול הטיול. סגנית המנהל חולקת עליו וממליצה להמתין עם הודעת הביטול ולבדוק שוב את התחזית בעוד כמה ימים. עם מי אתם מסכימים? מדוע?
3. כדי לחזות מזג אוויר, מטאורולוגים (מדענים שחוקרים מזג אוויר) משתמשים בהדמיות שבעזרתן ניתן לצפות את השינויים במזג האוויר עם הזמן. הדמיות אלו הן למעשה מודלים. מהו, לדעתכם, מודל בהקשר זה?
4. אחת מהטענות של מכחישי שינוי אקלים היא - אם מודלים לא יכולים לחזות מדויק את מזג האוויר בשבוע הבא, כיצד ניתן להשתמש במודלים לחזות את האקלים בעוד 50 שנה? כיצד הייתם עונים לאותם המבקרים? בתשובתכם התייחסו להבדלים שבים מזג אוויר לאקלים.
5. מודלי אקלים מורכבים ממשוואות מתמטיות מורכבות, המתארות את התהליכים המתרחשים במערכת האקלים. מודלי אקלים דורשים כח חישובי עצום והם רצים על מחשבי-על (supercomputers). כיצד, לדעתכם, מודלים כאלו יכולים לשמש אותנו במובן של שינוי האקלים?
6. כפי שלמדנו, אחד מהשחקנים המרכזיים בהתחממות גלובלית ושינוי האקלים הינו גז החממה - פחמן דו-חמצני. אתם מפתחים מודל אקלים ורוצים לכלול בו את הגורמים אשר משפיעים על ריכוז הפד"ח באטמוספירה.
- א. ערכו רשימה של גורמים אלו ומה הקשר של כל גורם לריכוז פד"ח באטמוספירה.
- ב. ערכו דיון כיצד כל גורם ברשימה שלכם ישתנה בעתיד לאור ההתחממות הגלובלית ושינוי אקלים.
- הערה למורה לגבי השאלה : מטרת השאלה היא להמחיש את המורכבות הרבה של מערכות אקלים תוך כדי חזרה על החומר שנלמד בשיעורים 3 עד 5. נסביר לתלמידים שבמודל מכניסים את כל אחד מהגורמים שהאלו בתור משוואה אשר מתארת את הקשר בין אותו גורם לבין ריכוז הפד"ח באטמוספירה.
7. פד"ח אטמוספרי הינו גורם עיקרי בהתחממות גלובלית אך הוא אינו הגורם היחיד אשר משפיע על טמפרטורות ממוצעות בעולם. הציעו גורמים נוספים שכדאי לקחת בחשבון בבניית מודל אקלים של טמפרטורות.

ملحق 1 – ورقة عمل للتلميذ – ما هو نموذج (موديل) المناخ؟

1. כלנו שמענו המصطلח نموذج (מודיל) خلال حياتنا. ما هو النموذج؟ هل تستطيعون أن تفكروا في عدة أمثلة؟
2. تمّ تخطيط الرحلة السنوية إلى الأسبوع الثاني من شهر ديسمبر (كانون ثان). بدأ التحضير للرحلة والتلاميذ متحمسون.
أعلن الراصد الجوي قبل الخروج في الرحلة بعشرة أيام أنه من المتوقع هطول أمطار. أراد مدير المدرسة أن يُرسل للأهل والتلاميذ إشعار بخصوص إلغاء الرحلة. لم توافق نائبة المدير على ذلك، وأوصت أن لا يُرسل الإشعار وأن يفحص توقعات الطقس بعد مرور عدة أيام. مع من أنتم موافقون؟ لماذا؟
3. عندما يتنبأ خبراء الأرصاد الجوية حالة الطقس يستعملون محاكاة بمساعدتها يمكن أن نتوقع التغيرات في حالة الطقس مع مرور الوقت. هذه المحاكاة هي نموذج. ما هو النموذج، حسب رأيكم، في هذا السياق؟
4. أحد ادعاءات معارضو تغيرات المناخ هو – النماذج لا تستطيع أن تتنبأ حالة الطقس بدقة في الأسبوع القادم، كيف يمكن استعمال نماذج لتنبؤ المناخ بعد 50 سنة؟ كيف تجيبون هؤلاء المعارضون؟ تطرقوا في إجاباتكم إلى الفروق بين حالة الطقس والمناخ.
5. نماذج المناخ مكونة من معادلات رياضية معقدة تصف العمليات التي تحدث في نظام المناخ. تحتاج نماذج المناخ إلى عمليات حسابية هائلة، وهي تتم في حواسيب عملاقة (فائقة) (supercomputers). كيف يمكن، حسب رأيكم، استعمال هذه النماذج في مفهوم أزمة المناخ؟
6. تعلمنا أن غاز الدفيئة – ثاني أكسيد الكربون هو أحد العوامل المركزية في ارتفاع درجة حرارة العالم وفي أزمة المناخ. مطلوب منكم أن تطوروا نموذج مناخ، وتريدون أن يشمل العوامل التي تؤثر على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
- أ. حضّروا قائمة بأسماء هذه العوامل، ما هي العلاقة بين كل عامل وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟
ب. تناقشوا كيف يتغير كل عامل في قائمتكم على ضوء ارتفاع درجة حرارة العالم وتغيرات المناخ؟
- ملاحظة للمعلم بخصوص السؤال: يهدف السؤال إلى تجسيد مدى تعقيد أنظمة المناخ، من خلال مراجعة المادة التي تعلمناها في الدروس 3 حتى 5. نشرح للتلاميذ أنه في هذا النموذج يتم إدخال كل عامل من هذه العوامل كمعادلة تصف العلاقة بين العامل وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
7. ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي هو عامل مركزي في ارتفاع درجة حرارة العالم، لكن ليس العامل الوحيد الذي يؤثر على معدل درجة الحرارة العالمي. اقترحوا عوامل إضافية من الأفضل أن تؤخذ بعين الاعتبار في بناء نموذج مناخ درجة الحرارة.

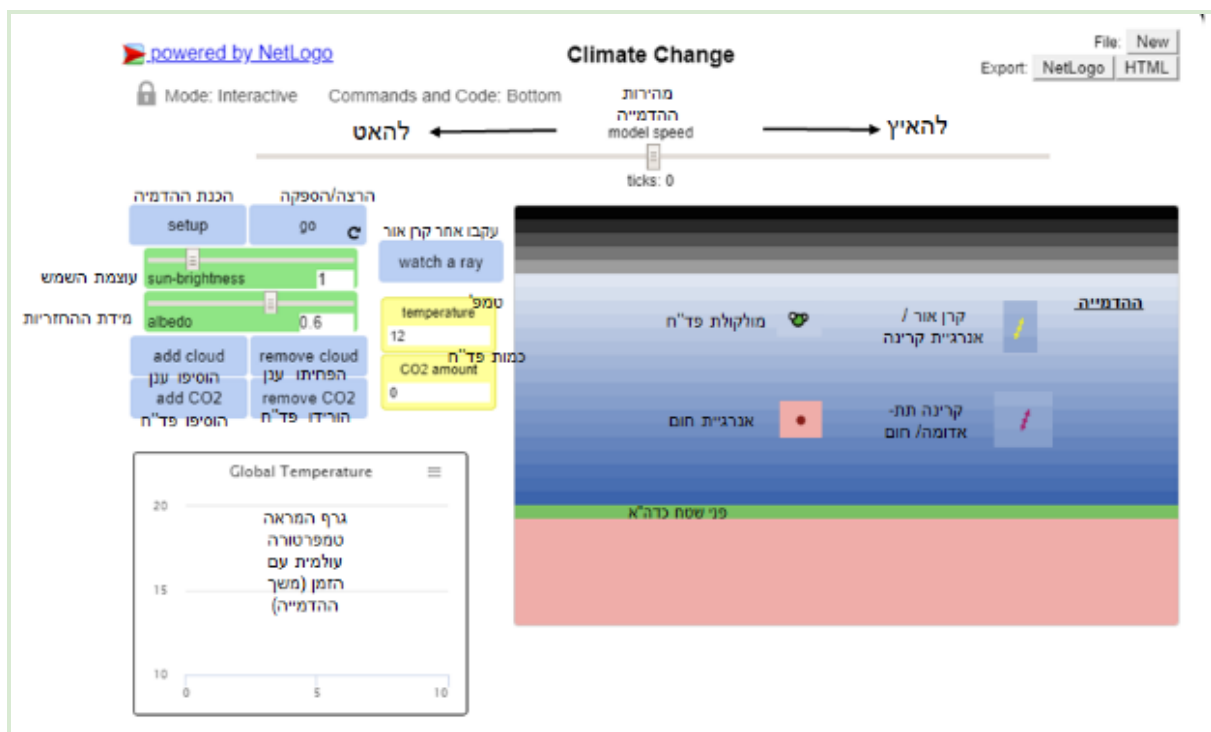
נספח 2 - סימולציה על השפעת גורמים שונים על הטמפרטורה

כנסו להדמיה הבאה:

<http://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/assets/modelslib/Sample%20Models/Earth%20Science/Climate%20Change.nlogo>

קרדיט: inker, R. and Wilensky, U. (2007). NetLogo Climate Change model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/ClimateChange>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL

הסבר על ההדמיה:



להכנת ההדמיה לחצו על "setup". פני השטח של כדה"א מוצגים בצבע ירוק, היבשה בצבע ורוד.

כדי להתחיל להריץ את ההדמיה לחצו על "go".

ניתן לשנות את מהירות ההרצה על ידי הזזה של הסליידר "model speed".

ענו על השאלות הבאות:

1. הריצו את הסימולציה ללא כדה"א במערכת.

א. שימו לב לפסים הצהובים אשר מייצגים את אנרגיית הקרינה (קרני אור) שנכנסת לכדה"א ותארו את מסלולם. ניתן לעקוב אחר קרן אור אחת ע"י לחיצה על "watch ray".

ב. שימו לב לנקודות האדומות אשר מייצגות אנרגיית חום. מה המסלול / מסלולים האפשריים שלהן? מומלץ להאיץ את ההרצה.

ג. לאחר זמן מה של הרצה הטמפרטורה מתייצבת. מדוע?

2. כעת הוסיפו פד"ח לאטמוספירה ע"י לחיצה על "add CO₂". הוסיפו 50 מולקולות פד"ח.

א. שימו לב למסלול של הנקודות האדומות אשר מייצגות אנרגיית חום או קרינה תת-אדומה. האם יש שינוי במסלולם?

ב. מה קורה לטמפרטורה (ציינו ביחס למצב ללא פד"ח)? מדוע זה קורה?

3. מלבד ריכוז גזי חממה כמו פד"ח באטמוספירה יש גורמים נוספים אשר יכולים להשפיע על טמפרטורה. בהדמייה ניתן לבחון את ההשפעה של כמה גורמים נוספים:

- עוצמת השמש (**sun-brightness**). ערך של 1 מייצג את השמש שלנו כפי שהיא היום. ערכים גבוהים מ-1 מעידים על עוצמה יותר גדולה.
- אלבדו (**albedo**) - מידת ההחזרה של אור ממשטח או מגוף. למשטח בהיר יש אלבדו גבוהה - הוא יחזיר את רוב קרינת השמש שפוגעת בו. לעומת זאת, משטח כהה יבלע את רוב הקרינה שפוגעת בו ויתחמם (אלבדו נמוך). תחשבו מה עדיף ללבוש לטיול ביום חם בשמש - בגדים לבנים או שחורים? למידע נוסף כנסו [לאתר של מטח](#) בנושא.
- עננות (**add/remove cloud**) - כמה עננים יש בשמיים.

כמות האנרגיה אשר מגיעה מהשמש עלולה להשתנות (שיעור 4, חלופה 2). יש שינויים ב**מסלול כדה"א** [סביב השמש](#), כך שלעיתים הוא נמצא יותר קרוב או יותר רחוק ולכן גם כמות הקרינה הנכנסת תשתנה בהתאם. בנוסף, יש שינויים ב**פעילות השמש** עצמה.

אפסו את ההדמייה - לחצו על "go" כדי לעצור את ההרצה ולחצו על "setup" שוב.

א. תארו מה קורה בהדמייה כאשר מעלים את עוצמת השמש מבלי לשנות את הגורמים האחרים. מה קורה לטמפרטורה? הסבירו.

ב. אפסו את ההדמייה. החזירו את עוצמת השמש "sun-brightness" לערך של 1. ניצור מצב של התחממות גלובלית - הוסיפו 100 יחידות פד"ח לאטמוספירה, המתינו עד להתייצבות של הטמפרטורה (אפשר להאיץ את ההרצה) ורשמו מה הטמפרטורה הממוצעת. נניח והיינו צובעים את פני כדה"א ללבן כדי להגדיל את ההחזרה, כלומר מעלים מאוד את האלבדו (העלו את האלבדו לערך 1, שימו לב מה קורה לצבע פני השטח).

ב. (i) מה קורה לטמפרטורה - ציינו בכמה היא משתנה ביחס לאלבדו התחלתי של 0.6? הציעו הסבר.

ב. (ii) האם לדעתכם העלאת האלבדו של פני שטח כדה"א יכול להוות פתרון להתחממות גלובלית? הציעו פתרון להתחממות גלובלית אשר מבוסס על העלאת האלבדו של פני כדה"א.

ג. כעת נבחן את ההשפעה של עננות על הטמפרטורה.

(i) לפני שנריץ את ההדמייה, שערנו כיצד עננות תשפיע על טמפרטורת כדה"א. נמקו את תשובתכם.

(ii) אפסו את ההדמייה. החזירו את ערך האלבדו ל-0.6. הוסיפו 50 יחידות פד"ח והתחילו את ההרצה. תנו להדמייה לרוץ עד שהטמפרטורה מתייצבת. לאחר מכן התחילו להוסיף עננים. מה קורה לטמפרטורה? למה?

4. בעירת דלקים פוסילים גורמת לעלייה בריכוזי גזי חממה באטמוספירה ולהתחממות גלובלית. להלן רשימה של תהליכים נוספים אשר יכולים להשפיע על טמפרטורת כדה"א. שערך עבור כל אחד מהתהליכים האם הוא יגביר או יאט את תהליך ההתחממות. נמקו את קביעתכם. הערה: מודלי אקלים לא יכולים להתבסס על ריכוזים אטמוספריים של פד"ח בלבד. אחת מהסיבות לכך היא שההתחממות עצמה גורמת להשפעות משניות על האקלים (ע"י תהליכים אשר מכונים תהליכי משוב) שיכולים להגביר או לצמצם את ההתחממות. כך למשל הפשרת קרחונים גורמת לירידה באלבדו והגברת ההתחממות (משוב חיובי).
- א. פני שטח של כדה"א הופכים לכהים יותר עקב הפשרת קרחונים ושלגים.
- ב. כתוצאה של התחממות גלובלית יותר מים מתאדים. אדי מים הינם גז חממה עצמתי.
- ג. הפשרה של קרקעות קפואות (permafrost) יכול לגרום לשחרר מתאן, גז חממה, לאטמוספירה.
5. אילו גורמים נוספים אשר משפיעים על טמפרטורת כדה"א ניתן להוסיף להדמיה?

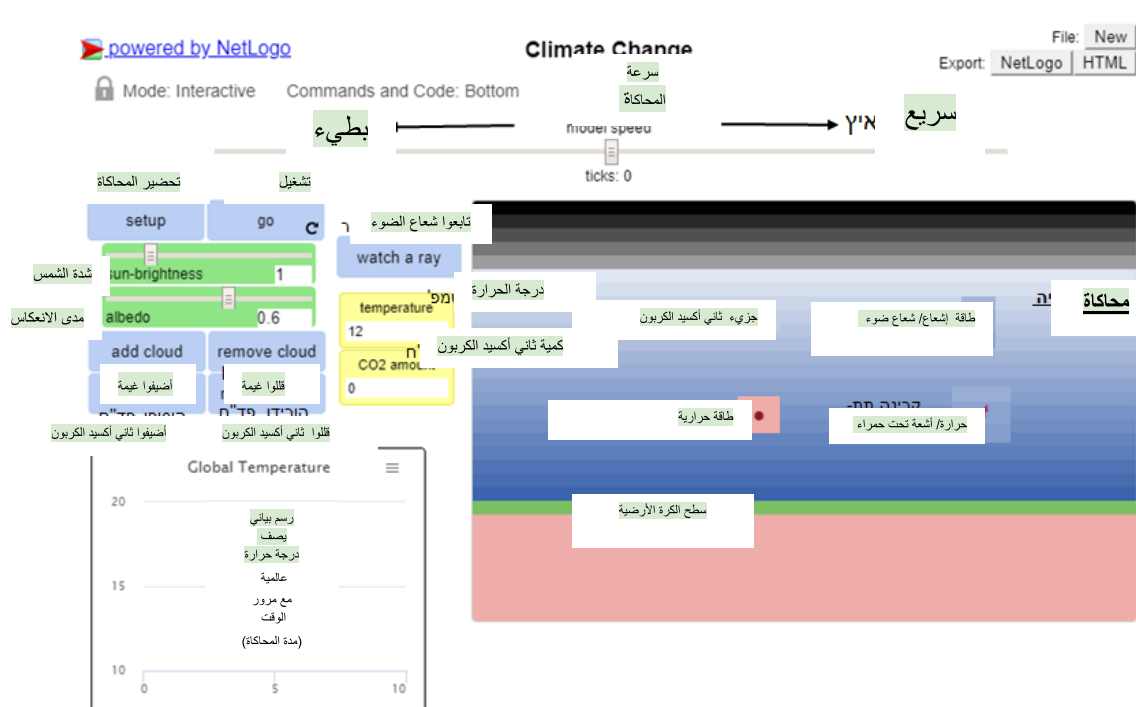
ملحق 2 – محاكاة عن تأثير عوامل مختلفة على درجة الحرارة

ادخلوا إلى المحاكاة الآتية:

<http://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/assets/modelslib/Sample%20Models/Earth%20Science/Climate%20Change.nlogo>

المصدر : inker, R. and Wilensky, U. (2007). NetLogo Climate Change model. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/ClimateChange>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL

شرح عن المحاكاة:



لتحضير المحاكاة اضغطوا على "setup". تعرض المحاكاة سطح الكرة الأرضية باللون الأخضر واليابسة باللون الزهري.

للبدا في تشغيل المحاكاة، اضغطوا على "go".

يمكن تغيير سرعة التشغيل بواسطة تحريك مفتاح التمرير "model speed".

أجيبوا عن الأسئلة الآتية :

1. شغلوا المحاكاة دون ثاني أكسيد الكربون في النظام.

أ. انتبهوا إلى الأشرطة الصفراء التي تمثل طاقة الإشعاع (أشعة الضوء) التي تدخل الكرة الأرضية، وصفوا مسارها.

يمكن متابعة شعاع ضوء واحد بواسطة الضغط على "watch ray".

ב. انتبهוהו إلى النقاط الحمراء التي تمثل طاقة الحرارة. ما هو مسارها / مساراتها الممكنة؟ نوصي بتسريع التشغيل.

ت. بعد مرور زمن معين من التشغيل تصبح درجة الحرارة ثابتة. لماذا؟

2. الآن، أضيفوا ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي بواسطة الضغط على "add CO₂". أضيفوا 50 جزيء ثاني أكسيد

الكربون.

أ. انتبهوהو إلى مسار النقاط الحمراء التي تمثل الطاقة الحرارية أو الأشعة تحت الحمراء. هل يوجد تغيير في مسارها؟

ب. ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ (قارنوا بالحالة التي لا يوجد فيها ثاني أكسيد الكربون). لماذا يحدث ذلك؟

3. بالإضافة إلى تركيز غازات الدفيئة، مثلاً: تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، هناك عوامل إضافية يمكن أن

تؤثر على درجة الحرارة. يمكن أن نفحص في المحاكاة عدة عوامل إضافية:

- شدة الشمس ((sun-brightness. القيمة 1 تمثل الشمس كما هي اليوم. نُشير قيم أكبر من 1 إلى شدة أكبر للشمس.

- الانعكاس ((albedo – مدى انعكاس الضوء عن سطح أو جسم معين. السطح الفاتح له مدى انعكاس عال – وهو يعكس معظم أشعة الشمس المصطدمة به. أما السطح القاتم، يبتلع معظم أشعة الشمس التي تصطدم به ويسخن (مدى انعكاس منخفض). فكروا أيهما أفضل أن تلبسوا في يوم حار، ملابس بيضاء أم سوداء؟
للمزيد من المعلومات عن الموضوع ادخلوا إلى [موقع مطاح](#).

- غيوم (add/remove cloud – كم غيمة في السماء؟

قد تتغير كمية الشمس التي تصلنا من الشمس (درس 4، بديل 2). يوجد تغيرات في مسار الكرة الأرضية حول الشمس، أحياناً يكون قريب أو بعيد، لذا تتغير كمية الأشعة التي تدخل وفقاً لذلك. بالإضافة، يوجد تغيرات في [نشاط الشمس ذاتها](#). عينوا المحاكاة على الصفر – اضغطوا على "go" لإيقاف التشغيل واضغطوا على "setup" مرة أخرى.

أ. صفوا ماذا يحدث في المحاكاة عندما نرفع شدة الشمس دون أن تغير العوامل الأخرى؟ ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ اشرحوا.

ب. عينوا المحاكاة على الصفر. أعيدوا شدة الشمس "sun-brightness" إلى القيمة 1. نُنتج حالة ارتفاع في درجة الحرارة

العالمية – أضيفوا 100 وحدة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، انتظروا حتى تصبح درجة الحرارة ثابتة (يمكن)

أن نسرّع التشغيل، واكتبوا معدل درجة الحرارة. نفترض أننا قمنا بطلاء سطح الكرة الأرضية باللون الأبيض كي نرفع الانعكاس، هذا يعني أننا نرفع مدى الانعكاس بشكل كبير جداً (ارفعوا مدى الانعكاس إلى 1، انتبهوהو إلى ماذا يحدث للون السطح؟).

ب. (i) ماذا يحدث لدرجة الحرارة – كم تتغير مقارنة بمدى الانعكاس الابتدائي 0.6؟ اقترحوا شرحاً.

ب. (ii) هل يستطيع، حسب رأيكم، رفع مدى الانعكاس عن سطح الكرة الأرضية أن يكون حلاً لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية؟ اقترحوا حلاً لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بحيث يعتمد على ارتفاع مدى الانعكاس عن سطح الكرة

الأرضية؟

ت. الآن، نفحص تأثير الغيوم على درجة الحرارة.

(i) قبل تشغيل المحاكاة، افترضوا كيف تؤثر الغيوم على درجة حرارة الكرة الأرضية؟ عللوا إجاباتكم.

(ii) عينوا المحاكاة على الصفر. أعيدوا قيمة مدى الانعكاس إلى 0.6. أضيفوا 50 وحدة ثاني أكسيد الكربون وابدأوا التشغيل؟

اتركوا المحاكاة تعمل حتى تصبح درجة الحرارة ثابتة. بعد ذلك، أضيفوا الغيوم. ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ لماذا؟

4. يؤدي احتراق الوقود المتحجرة إلى ارتفاع تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي وإلى ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. فيما يلي قائمة عمليات إضافية يمكن أن تؤثر على درجة حرارة الكرة الأرضية. افترضوا لكل عملية ما إذا كانت ترفع أو تقلل عملية ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. عللوا تحديدكم.

ملاحظة: لا يستطيع نموذج المناخ الاعتماد على تركيز ثاني أكسيد الكربون فقط في الغلاف الجوي. أحد الأسباب لذلك أن

ارتفاع درجة الحرارة ذاتها تؤدي إلى تأثيرات ثانوية على المناخ (بواسطة عمليات نسميها مردودية)، مما ترفع أو تقلل ارتفاع درجة الحرارة. مثلاً: يؤدي انصهار الجليد إلى انخفاض مدى الانعكاس وإلى ازدياد ارتفاع درجة الحرارة (مردودية إيجابية).

أ. في أعقاب انصهار الجليد والثلوج يتحول سطح الكرة الأرضية إلى غامق أكثر.

ب. تتبخر كمية مياه أكثر نتيجة لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. بخار الماء هو غاز دفيئة قوي.

ت. قد يؤدي انصهار تربة متجمدة (permafrost) إلى انبعاث ميثان، غاز الدفيئة، إلى الغلاف الجوي.

5. أي عوامل أخرى تؤثر على درجة حرارة الكرة الأرضية يمكن إضافتها إلى المحاكاة؟

תשובות למורה:

1.א. מסלול קרני האור: חלק מקרני האור פוגעות בפני השטח של כדה"א וחוזרות בחזרה לחלל. חלקן פוגעות בפני השטח ו"נבלעות" - אנרגיית קרינה גורמת לחימום פני השטח של כדה"א (מעבר של אנרגיית אור לאנרגיית חום).

1.ב. מסלולים של אנרגיית החום: אנרגיית החום מצטברת בפני שטח כדה"א (יותר ויותר נקודות אדומות מצטברות בחלק הוורוד). מדי פעם ניתן לראות שחורר חום מהיבשה (נקודה אדומה עפה החוצה). זוהי בעצם קרינה תת-אדומה שנפלטת מהיבשה.

1.ג. הטמפרטורה מתייצבת לאחר זמן מה של ההרצה כשנוצר שיווי משקל בין האנרגיה הנכנסת לכדה"א (קרינה שגורמת לחימום פני השטח) לבין האנרגיה שנפלטת מכדה"א (החזרה של קרינת אור מפני השטח ופליטה של קרינה תת-אדומה מפני השטח).

2.א. כן, חל שינוי במסלול הנקודות האדומות. חלק מהפסים אדומים (קרינה תת-אדומה) נתקלים במולקולות פד"ח וחוזרים חזרה לפני שטח כדה"א. למעשה גזי חממה בולעים או מחזירים קרינה תת-אדומה הנפלטת מכדור הארץ.

2.ב. הטמפרטורה עולה כיוון שפד"ח הינו גז חממה - הוא בעצם כולא אנרגיית חום (מחזיר את אנרגיית החום בחזרה לפני השטח וכך גורם להתחממות).

3.א. עלייה בעוצמת השמש גורמת לעלייה באנרגיית הקרינה אשר מגיעה לפני כדה"א (יותר פסים צהובים נראים במסך ההדמייה). כתוצאה מכך יש עלייה בטמפרטורה כיוון שיותר אנרגיית חום מצטברת ביבשה. שימו לב שגם יותר אנרגיית חום נפלטת מכדה"א (פסים אדומים יוצאים - קרינה תת-אדומה) והטמפרטורה מתייצבת על ערך יותר גבוהה. החימום מתרחש גם ללא גזי חממה באטמוספירה.

3.ב. (i). עלייה באלבדו של פני שטח כדה"א גורמת לירידה בהירה בטמפרטורות. הטמפרטורה צונחת ומתייצבת על 21 מעלות, בערך 10 או 11 מעלות יותר קר לעומת מצב בו האלבדו 0.6. ההתקררות נובעת מכך שיותר קרני אור חוזרות חזרה לחלל ולכן יש פחות חימום של פני השטח (פחות הצטברות של נקודות אדומות).

3.ב. (ii). פתרון להתחממות גלובלית אשר מבוסס על העלאת האלבדו של פני כדה"א יכול להיות צביעת גגות של בתים בלבן.

יש מחלוקת בעולם המדעי בנוגע ליעילות הפתרון (והאם הוא לא בעצם יפגע במקום להועיל). ניתן לקרוא עוד על הרעיון [באתר זווית](#) (עברית) או על המחלוקת ומחקרים בנושא [בבלוג הסביבתי של אוניברסיטת ייל](#) (אנגלית).

3.ג. (i). כל הסבר מתקבל כל עוד הוא מנומק בצורה הגיונית.

למשל - עננים יכולים לקרר כיוון שהם מונעים חדירה של אנרגיית קרינה.

או עננים יכולים לחמם כיוון שהם כולאים חום קרוב לפני שטח כדה"א.

(למעשה שני ההסברים הנ"ל נכונים - השפעת עננות על אקלים היא מורכבת - ראו תשובה ל-ii)

3.ג. (ii). בהדמייה לעננים יש השפעה מקררת על כדה"א. ניתן לראות שקרני השמש (הקווים הצהובים) לא חוזרים דרך העננים וחוזרים חזרה לחלל ולכן יש השפעה של קירור.

למעשה ההשפעה של עננים על טמפרטורה היא מורכבת. השפעתו של ענן על האקלים תלויה בגובה הענן ובעובי שלו ולכן עננות יכולה לגרום לקירור או לחימום. למידע נוסף כנסו לאתר של NASA (באנגלית)

4.א. ירידה של אלבדו כדה"א (נעשה כהה יותר) יגרום להגברת ההתחממות הגלובלית.

4.ב. יותר גזי חממה יגרמו ליותר חימום. כלומר, להגברת התחממות גלובלית.

4.ג. יותר גזי חממה יגרמו ליותר חימום. כלומר, להגברת התחממות גלובלית.

5. גורמים נוספים אשר משפיעים על טמפרטורת כדה"א שניתן להוסיף להדמיה:

- למדנו על מחזור הפחמן בשיעור 5 - כל גורם אשר משפיע על ריכוז פד"ח באטמוספירה יכול להשפיע על טמפרטורה עולמית ממוצעת. למשל - קצב וכמות של יצרנות ראשונית/פוטוסינתזה בים וביבשה.
- זרמי אוקיינוס (כפי שהזכרנו בשיעור 2).
- כמות האנשים ורמת החיים שלהם תשפיע על השימוש בדלקים פוסילים.