

מודל לחיזוי אקלים - השוואה בין תרחישים

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 נעסוק במודלים אשר מבוססים על תרחישי פליטות שונים. בסיכום נדון 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, רגישות אקלימית

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 *קרבה 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 השוואה של מודלי אקלים שונים ותרחישי פליטות שונים. התלמידים יכולים לעבוד על הפעילות בקבוצות קטנות (נספח 3 - 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 לאחר ולראות האם מודל מסוים מדייק. 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 3 - פעילות על מודלי אקלים ותרחישי פליטות שונים

1. חוקרי אקלים משלושה מכוני מחקר שונים יצרו מודלי אקלים אשר חוזים את השינוי בטמפרטורה הממוצעת העולמית את השינויים בכמות המשקעים הממוצעת בעולם בעקבות הכפלה בריכוז הפד"ח באטמוספירה. להלן הנתונים:

מודל	עלייה עולמית ממוצעת בטמפ' (°C)	אחוזי עליה בכמות המשקעים הממוצעת בעולם יחסית להווה (%)
NCAR- National Centre for Atmospheric Research	3.5	7.1 +
OSU- Oregon State University, Corvallis, Oregon	2.8	7.8 +
UKMO- United Kingdom Meteorological Office	5.2	15.0 +

א. כל מודל מורכב ממשוואות שונות, אשר מתארות את יחסי הגומלין ואת הקשרים בין הגורמים השונים במערכת האקלים. הסתכלו על התחזיות לשינוי טמפרטורה לשינוי במשקעים - איזה מודל שונה מהאחרים בצורה משמעותית?

ב. לאיזה מודל או מודלים כדאי למקבלי החלטות להתייחס לדעתכם? נמקו את תשובתכם.

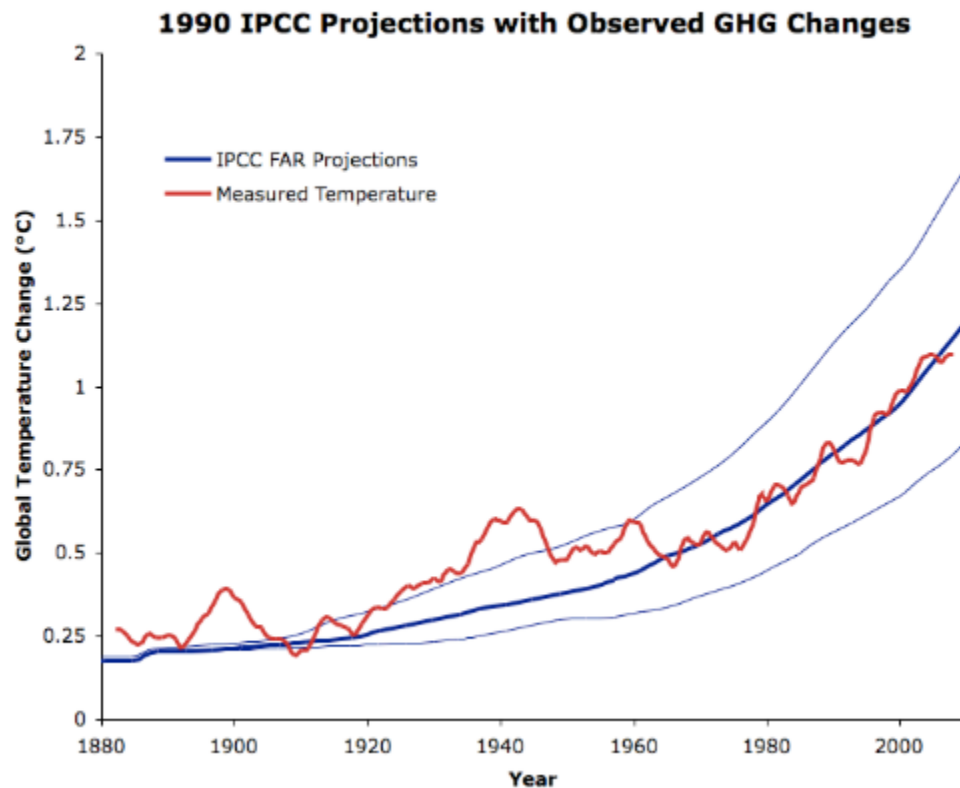
ג. האם התחזיות של המודלים האלו יכולות לעזור לנו להיערך לשינוי אקלים כאן בישראל? נמקו את תשובתכם.

2. בשנת 1990 הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC) פרסם דו"ח הערכה ראשון שמטרתו הייתה לבחון את הידע המדעי הקיים לגבי מערכת האקלים ולגבש תוכנית פעולה מציאותית להתמודדות עם שינוי אקלים. כדי לעשות זאת, השתמשו במודלים כדי לחזות תרחישים עתידיים. כיום ניתן להסתכל אחורה על אותם המודלים ולראות האם הצליחו לחזות את האקלים בצורה מדויקת.

איור 1 מראה את התחזית של אותם המודלים בשנת 1990 בתרחיש של "עסקים כרגיל" (business as usual). בתרחיש זה אין הפחתה בפליטות גזי חממה ואנשים ממשיכים בבערת דלקים פוסילים כרגיל. בנוסף ניתן לראות את הטמפרטורות הממוצעות אשר נמדדו בפועל.

א. מדוע כדאי להשוות בין תחזיות מודל משנת 1990 לבין נתוני אמת?

ב. מה ניתן ללמוד על אותו המודל מהנתונים באיור 1?



איור 1: טמפרטורה ממוצעת עולמית נמדדת (אדום) וטמפרטורה ע"פ מודלים שנוסחו בשנת 1990 (כחול) בתרחיש "עסקים כרגיל". יש שלושה עקומים כחולים אשר מייצגים רגישות אקלימית שונה. רגישות אקלימית (climate sensitivity) מוגדרת כשיעור ההתחממות שנובע מהכפלה בריכוז ה- CO_2 , כלומר, עד כמה הטמפרטורה תשתנה בהתאם לעלייה בפד"ח. הקו הכחול העליון מייצג רגישות גבוהה - עלייה גבוהה בטמפרטורה כתגובה לעלייה בפד"ח. הקו הכחול התחתון מייצג רגישות נמוכה הקו האמצעי המודגש מייצג רגישות ביניים.

מקור: <https://www.skepticalscience.com/print.php?n=960>

3. הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC) פרסם תחזיות אקלים לעתיד על בסיס מספר מודלים. איור 2 מציג את התחזיות שפורסמו ב-2007. נתוני העבר מוצגים בשחור. לאחר שנת 2000 ניתן לראות ארבעה תרחישים (יש עוד הרבה תרחישים, כאן מוצגים חלקם). המספרים אשר מופיעים בצבעים שונים בתחתית הגרף מציינים את מספר המודלים אשר בחנו את אותו התרחיש. הסתכלו על איור 2 וענו על השאלות.

רשימת תרחישים המופיעים באיור:

תרחיש A2 (אדום): קצב גבוה של גידול אוכלוסיית העולם. התפתחות טכנולוגית וכלכלית איטית. שימוש גבוה באנרגיה.

תרחיש A1B (ירוק): התפתחות כלכלית מאוד מהירה, גידול איטי בגודל האוכלוסייה ושימוש מאוזן באנרגיות מתחדשות ובדלקים פוסילים

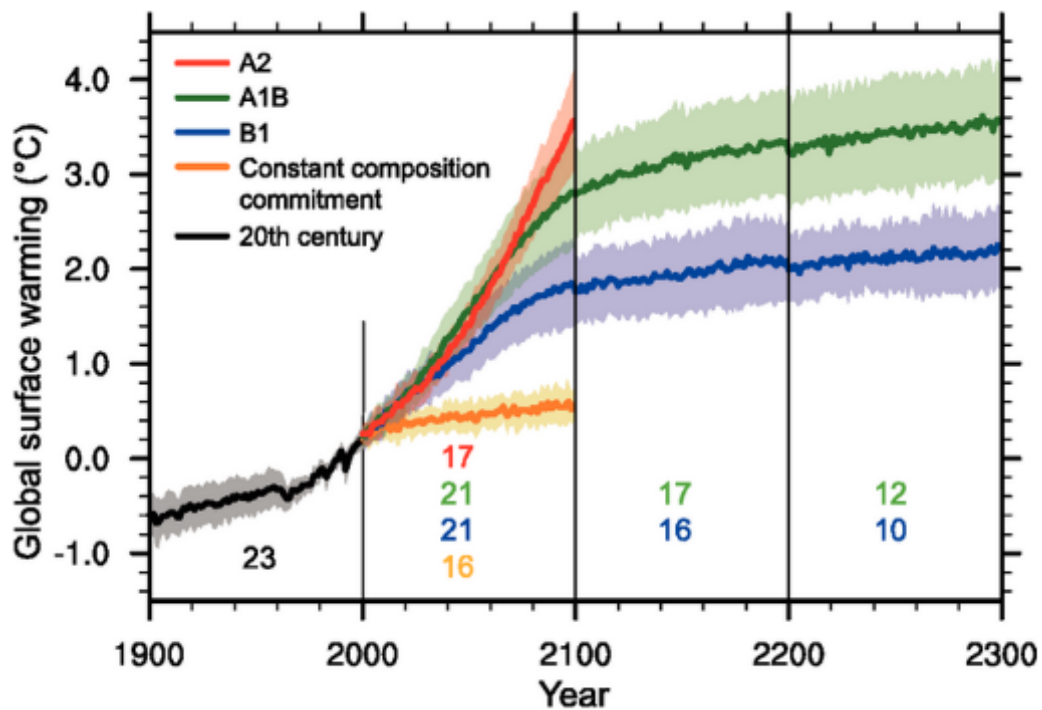
תרחיש B1 (כחול): אוכלוסיית העולם גדלה בקצב איטי. התפתחות טכנולוגית כלכלית מהירה. מודעות סביבתית וחברתית גבוהה. שימוש מועט באנרגיה. ייעור מחדש של יערות הגשם, פחות שימוש קרקעות לצורך חקלאות.

תרחיש הרכב קבוע (כתום): תרחיש זה הינו תרגיל מחשבתי בו משאירים את הרכב גזי החממה באטמוספירה קבוע משנת 2000 ובדקים מה יקרה בעוד 100 שנים אם הרכב זה נשמר לאורך זמן.

א. מדוע, לדעתכם, בוחנים מספר תרחישים?

ב. למה משמש תרחיש ההרכב הקבוע (צהוב) בו משאירים את הרכב גזי החממה באטמוספירה משנת 2000 קבוע לאורך 100 שנים הבאות?

ג. אלו החלטות הייתם מקבלים על סמך המודלים המוצגים באיור 2 כדי להתמודד עם שינוי אקלים?



איור 2: מודלים אשר בוחנים את העלייה בטמפרטורה הממוצעת על פני שטח כדה"א ביחס לשנים 1980 - 1999. הרצת המודלים בוחנת 100 שנה כל פעם.

מקור: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-10-4.html

ملحق 3 – عمل نموذج المناخ وسيناريوهات انبعاث مختلفة

1. בני באחו مناخ، من ثلاثة معاهد، نماذج مناخ تتوقع تغيرات معدل درجة الحرارة العالمي، تغيرات معدل كمية الرواسب

في العالم في أعقاب مضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. فيما يلي المعطيات:

النموذج	ارتفاع معدل درجة الحرارة العالمي (°C)	ارتفاع معدل كمية الرواسب في العالم مقارنة بالوقت الحاضر (%)
NCAR - National Centre for Atmospheric Research	3.5	7.1 +
OSU - Oregon State University, Corvallis, Oregon	2.8	7.8 +
UKMO - United Kingdom Meteorological Office	5.2	15.0 +

- أ. كل نموذج مكوّن من معادلات مختلفة تصف العلاقات المتبادلة والعلاقات بين العوامل المختلفة في نظام المناخ. تمنعونا في توقعات تغيرات درجة الحرارة وتغيرات الرواسب – أي نموذج يختلف عن النماذج الأخرى بشكل كبير جداً؟
- ب. أي نموذج أو نماذج، حسب رأيكم، من الأفضل أن يأخذها صانعوا القرار بعين الاعتبار؟ عللوا إجاباتكم.
- ت. هل تساعدنا توقعات هذه النماذج على الاستعداد لتغيرات المناخ في إسرائيل؟ عللوا إجاباتكم.

2. في سنة 1990، نشرت هيئة الحكومات المعنية بتغيرات المناخ (IPCC) تقرير تقييم أول لفحص المعرفة العلمية الموجودة

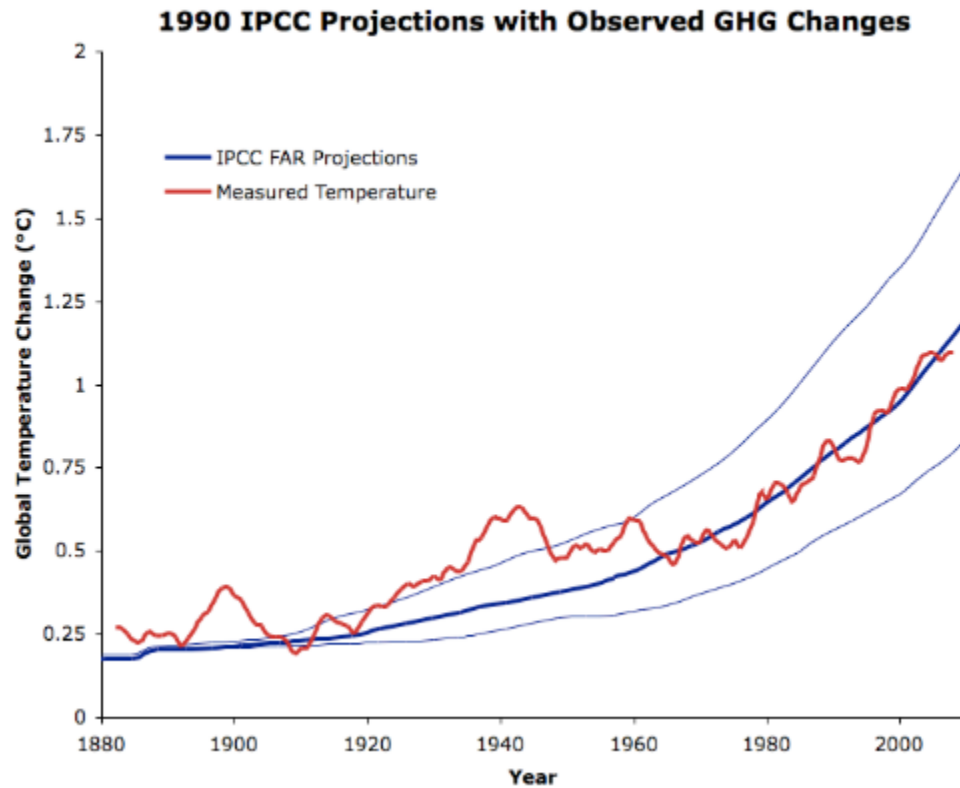
بالنسبة لنظام المناخ، ولبلورة خطة عمل واقعية لمواجهة تغيرات المناخ. لتنفيذ ذلك، استعملت نماذج تتوقع سيناريوهات

مستقبلية. نستطيع اليوم النظر إلى الماضي على تلك النماذج، وفحص ما إذا كانت ناجحة في توقع المناخ بشكل دقيق.

يصف الرسم البياني 1 توقعات تلك النماذج، في سنة 1990، في سيناريو "بقاء الأمور على حالها" (business as usual). في هذا السيناريو لا يوجد انخفاض في انبعاث غازات الدفيئة، والناس مستمرين في حرق الوقود المتحجرة كالمعتاد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن نرى معدل درجة الحرارة التي تم قياسها في الواقع.

أ. لماذا من المهم المقارنة بين توقعات النموذج سنة 1990 والمعطيات الواقعية؟

ب. ماذا يمكن أن نتعلم عن النموذج من معطيات الرسم البياني 1؟



הרسم הביאני 1: معدل درجة الحرارة العالمي التي تم قياسها (أحمر) ودرجة الحرارة حسب نماذج تمت صياغتها سنة 1990 (أزرق)، في سيناريو "بقاء الأمور على حالها". يوجد ثلاثة منحنيات تمثل حساسية مختلفة للمناخ. حساسية المناخ (climate sensitivity) معرفة كنسبة ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية الناجمة من تركيز CO_2 ، بكلمات أخرى، كم تتغير درجة الحرارة وفقاً لارتفاع ثاني أكسيد الكربون؟ الخط الأزرق العلوي يمثل حساسية عالية. ارتفاع حاد في درجة الحرارة كرد فعل لارتفاع ثاني أكسيد الكربون. الخط الأزرق السفلي يمثل حساسية منخفضة، الخط الأوسط البارز يمثل حساسية متوسطة.

المصدر: <https://www.skepticalscience.com/print.php?n=960>

3. نشرت هيئة الحكومات المعنية بتغيرات المناخ (IPCC) تنبؤات المناخ في المستقبل بناء على عدة نماذج. يعرض الرسم البياني 2 التنبؤات التي نُشرت سنة 2007. عُرضت معطيات الماضي بالأسود. بعد سنة 2000، يمكن أن نرى أربعة سيناريوهات (هناك سيناريوهات كثيرة، تم عرض قسم منها هنا). الأعداد التي تظهر بألوان مختلفة، في أسفل الرسم البياني، تُشير إلى عدد النماذج التي فحصت نفس السيناريو. تمعنوا في الرسم البياني 2، وأجيبوا عن الأسئلة.

قائمة سيناريوهات تظهر في الرسم البياني:

سيناريو A2 (أحمر): يزداد تعداد سكان العالم بوتيرة عالية. التطور التكنولوجي والاقتصادي بطيء. استعمال عالي للطاقة.

سيناريو A1B (أخضر): تطور اقتصادي سريع جداً، نمو بطيء في تعداد السكان العالم واستعمال متوازن للطاقات المتجددة والوقود المتحجرة.

سيناريو B1 (أزرق) : يزداد تعداد سكان العالم بوتيرة بطيئة. التطور التكنولوجي والاقتصادي سريع. الوعي للبيئة المحيطة وللمجتمع عالٍ. استعمال قليل للطاقة. حراجة غابات المطر من جديد، استعمال قليل للأراضي لاحتياجات زراعية.

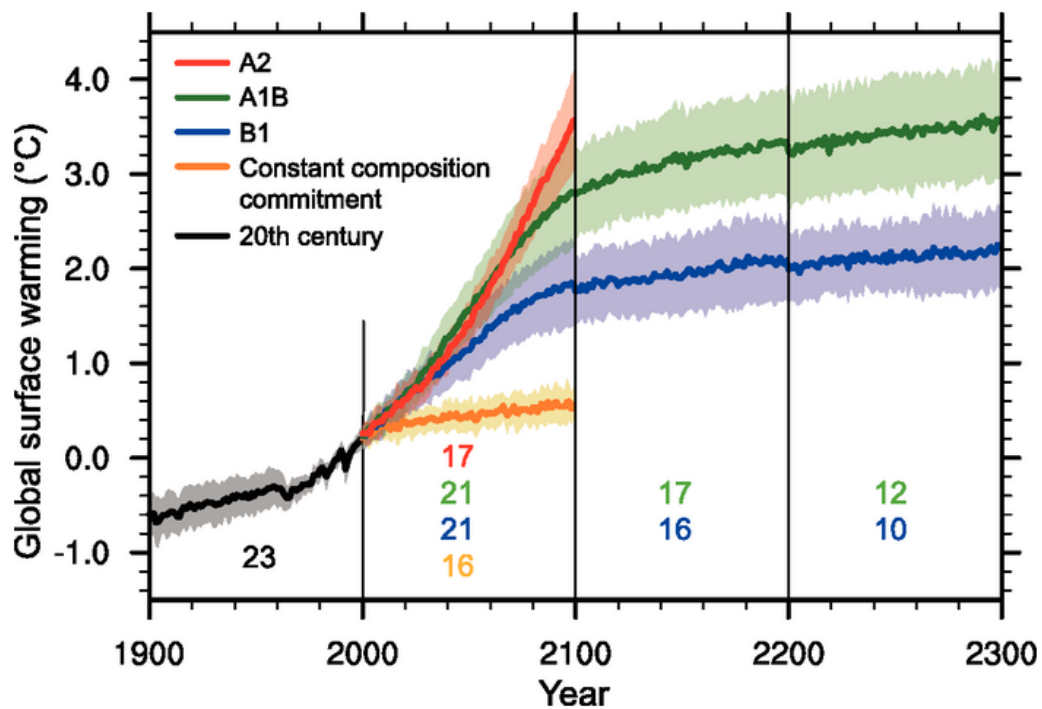
سيناريو مكونات ثابتة (برتقالي): هذا السيناريو هو تمرين للتفكير، حيث تبقى مكونات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ثابتة من سنة 2000، ونفحص ماذا يحدث بعد مرور 100 سنة إذا بقيت هذه المكونات ثابتة مدة زمنية طويلة؟

أ. لماذا يفحصون، حسب رأيكم، عدة سناريوهات؟

ب. لأي غرض يُستخدم سيناريو المكونات الثابتة (الأصفر)، الذي تبقى فيه مكونات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ثابتة منذ

سنة 2000 على طول الـ 100 سنة القادمة؟

ت. أي قرارات تتخذون بناء على النماذج المعروضة في الرسم البياني 2 لمواجهة تغيرات المناخ؟



الرسم البياني 2: نماذج تفحص ارتفاع معدل درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية مقارنة بالسنوات 1980 - 1999 . عندما نشغل النموذج يفحص 100 سنة في كل مرة.

المصدر: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-10-4.html

תשובות למורה:

1.א. המודל של ה-UKMO שונה באופן משמעותי. המודלים של NCAR ושל OSU דומים בנוגע לתחזית לשינוי משקעים ולא שונים בהרבה בתחזית לשינוי טמפרטורה (יש ביניהם הבדל ב-0.7 מעלות). לעומת זאת המודל של UKMO נותן תחזית של כמעט פי שתיים יותר משקעים גם תחזית לעלייה יותר משמעותית בטמפרטורה.

1.ב. כל תשובה מנומקת תתקבל. למשל

- צריך להתייחס למודל המחמיר כדי להיות ערוכים לתרחישי קיצון.
- אפשר לכלול שני מודלים או יותר כדי לקבל ממוצע שכולל יותר מנקודת מבט אחת
- אפשר לבחון את תפקוד המודלים ע"י "חיזוי לאחור" (hindcasting) - היכולת שלהם "לחזות" אקלים בעבר ואז להשוות לנתוני אמת כדי להבין מה מידת הדיוק של המודלים.

1.ג. אלו מודלים גלובליים אשר חוזים מגמות **בממוצעים עולמיים**. לכן למרות שבעולם יש תחזית לעלייה בכמות המשקעים למשל, זה לא בהכרח מעיד שגם בישראל ירד יותר גשם (למעשה ראינו בשיעור 2 שההפך - בישראל יש תחזית לפחות משקעים). עבור ישראל עדיף להסתכל על מודל אקלים מקומי ולא עולמי.

2.א. כאשר משווים תחזיות של מודלים לנתוני אמת זה מאפשר לנו לבחון את המהימנות של אותם המודלים. כך ניתן לפתח ולשפר את המודלים וכן להעמיק את ההבנה שלנו של מערכת האקלים.

2.ב. ניתן לראות שהמודל נותן תחזיות קרובות מאוד (בתרחיש של רגישות אקלימית ביניים) לטמפרטורה הממוצעת אשר נמדדות בפועל משנת 1990 ואילך. המודל פחות מדויק כאשר הולכים אחורה בזמן.

3.א. בוחנים מספר תרחישים כדי להיערך. כדאי לבחון גורמים שונים אשר יכולים להשפיע של טמפרטורה - גידול באוכלוסייה, צמצום פליטות גזי חממה ע"י מודעות סביבתית וחברתית אשר משפיעה על שימוש באנרגיה, שימוש באנרגיות חלופיות והתפתחות כלכלית וטכנולוגית.

3.ב. תרחיש ההרכב הקבוע משמש בנקודת ייחוס או כבקרה. ניתן לראות שגם אם היינו ממשיכים כרגיל, לא נבלום את ההתחממות הגלובלית.

3.ג. שימוש מאוזן באנרגיה מתחדשת ובאנרגיה פוסילית הוא לא פתרון מספק משום שיש עלייה בהתחממות הגלובלית, התרחיש הטוב ביותר עבור ההתחממות הגלובלית הוא התרחיש בתכלת ואחריו הכחול.

צמצום פליטות גזי חממה ע"י העלאת מודעות סביבתית וחברתית ושימוש יותר נכון באנרגיה, פיתוח ושימוש אנרגיות חלופיות, האטה בקצב גידול אוכלוסיית העולם וכו'...