

יוני 2021

מערך שיעור – שירותי המערכת האקולוגית והאיומים עליה

פיתוח וכתובה – אורית אנגלברג-ברעם

קהל היעד: חטיבה עליונה

אורך הפעילות: שעה וחצי (שיעור כפול)

מטרות השיעור:

- 1) התלמידים ילמדו כי כל מאפייני הסביבה (ביוטיים ואביוטיים) הקשורים זה בזה ביחסי גומלין
- 2) התלמידים ילמדו את המונחים: 'בית גידול', 'מערכת אקולוגית', 'מגוון ביולוגי' 'שירותי מערכת', ו'פיתוח בר-קיימא'.
- 3) התלמידים יפרטו את שלושת הסוגים של שירותי המערכת (אספקה, ויסות, תרבות).
- 4) התלמידים יחשפו ל'מקרה מבחן' המדגים דילמות הקשורות במעורבות האדם בטבע.
- 5) התלמידים יכירו את היתרונות והחסרונות של גישת שירותי המערכת.

נקודות חיבור של הפעילות לתכנים הנלמדים בבילוגיה:

תכנית הלימודים בבילוגיה כוללת את נושא האקולוגיה, החושף את התלמידים לסוגיות מרכזיות ביחסי אדם-סביבה ולדילמות הכרוכות בהן. הנושא מזמן עיסוק בנושאים רלוונטיים הנוגעים למעורבות האדם בסביבתו, ברמה הגלובלית, ברמה האזורית וברמה המקומית. מערך שיעור זה משתלב בנושא אקולוגיה בתכנית הלימודים, והוא נועד לשפוך אור על סוגיית 'שירותי המערכת', המתייחסת לתועלות החומריות והלא-חומריות שהאדם מפיק מהשירותים שמספקות המערכות האקולוגיות.

טבלה מסכמת למערך השיעור המוצע

עזרים דרושים	משך	פעילות	
שיעור ראשון (45 דק')			
לתלמידים - דפים וכלי כתיבה טוש ללוח למורה - להקרנת המצגת: לפטופ, מקרן, רמקולים, אינטרנט	15 דק'	שקופיות 2-3: תחרות מציאת כמה שיותר שימושים של האדם בטבע אצל משפחה פרה-היסטורית ואצל משפחה עכשווית	חלק א'
	25 דק'	שקופיות 4-9: הסבר המונחים "שירותי מערכת" וסוגי השירותים, "מגוון ביולוגי",	חלק ב'
שיעור שני (45 דק')			
	15 דק'	שקופיות 10 – 12: דוגמאות ומקרי-מבחן מהעולם למערכות אקולוגיות שנפגעו כתוצאה מניצול-יתר	חלק א'
	30 דק'	שקופית 13 – 18: האיומים על המערכות האקולוגיות בישראל. דוגמאות ומקרי מבחן מישראל לדילמות של שימור מול פיתוח	חלק ב'

שיעור ראשון

שקופית 1:

השקופית הפותחת של השיעור

שקופית 2:

נחלק את הכיתה לשתי קבוצות, ונכריז על תחרות, במסגרת זמן בת שתי דקות בדיוק. נציג תמונה של "משפחת קדמוני" (The Flintstones) – מסדרת האנימציה האמריקאית הידועה, שעסקה במשפחה שחיה בתקופת האבן – על כל קבוצה לכתוב כמה שיותר שירותים שקבלה משפחת האדם הקדמון ממשאבי הטבע ומהמערכת האקולוגית בה חיה. הקבוצה המנצחת היא זו שכתבה יותר שירותים (למשל: מערה למגורים, צמחים להכנת תרופות, עור בע"ח – לביגוד, עצמות בע"ח – ככלי נשק, דגים, בשר וחלב – למאכל, אוויר - לנשימה).

שקופית 3:

כיום, הקשר בין האדם והטבע נראה פחות מידי, ישיר וברור מאליו. לחברה האנושית בימינו יש יכולות טכנולוגיות שלפני כמה מאות או עשרות שנים היו נראות כ"מדע בדיוני", והן הולכות ומתפתחות בקצב מואץ. לאדם המערבי במאה ה-21 יש שליטה על משאבי הטבע, עד כדי כך שאפילו בשביל סוגים מסויימים של מזון, הוא אינו תלוי במגבלות חילופי עונות השנה ובזמינות קרקע. זה עלול ליצור אשלייה שאין לנו עוד צורך בתשתית הביולוגית, אך למעשה אין זה כך, והיבטים רבים ברווחת האדם עדיין נסמכים על המערכות האקולוגיות.

נציג תמונה של סדרה אמריקאית פופולארית נוספת "משפחה מודרנית" (Modern family) ונאמר כי נקיים עכשיו סבב ב' של התחרות, וזו הזדמנות לקבוצה המפסידה להשוות לתיקו. נפעיל שוב את שעון העצר לשתי דקות, ונערוך תחרות כשהפעם המשימה היא לכתוב כמה שיותר שירותים שמשפחה בת-זמננו מקבלת מהמערכת האקולוגית. תוך כדי שהקבוצות כותבות, נוכל לנסות להפנות את תשומת לבן לכך שישנם שירותים ותועלות לאדם שמגיעים מהטבע ואינם בגדר "חומרי גלם" (כמו למשל: מראה הקשת בענן מסב לאנשים הנאה אסתטית ומעניק להם השראה רוחנית; אנרגיית השמש משמשת לייצור חשמל; החיידקים, הפטריות וחסרי החוליות שחיים באדמה מסייעים להפוך את הקרקע לפורייה וכד'). נעודד את הקבוצות לחשוב גם על שירותים לא חומריים, ולכתוב גם אותם.

ניתן לקבוצות להקריא את השירותים שכתבו, ונכריז על הקבוצה המנצחת.

נסביר כי האדם תמיד השתמש במשאבי הטבע לצרכיו (ציד, ליקוט מזון וכד'), אך כיום זה נעשה בהיקף עצום. גם בשל הגידול באוכלוסיית בני האדם החיה כיום על-פני כדור הארץ, וגם

בגלל השיפור ברמת החיים ותרבות הצריכה הגוברת, שגורמים לכל אדם (במיוחד בעולם המערבי) להשתמש ביותר ויותר משאבים.

שקופית 4:

נסביר כי כל היצורים החיים זקוקים למקום מחיה- **לבית גידול** (habitat), שבו הם מוצאים את מה שדרוש לקיומם. בית הגידול כולל הן את המקום הפיזי בו חיים אותם היצורים (למשל: חוף הים ויער אלו שני בתי גידול שונים) והן צירוף של תנאים ומשאבים שהם זקוקים להם לצרכי הקיום, או שמשפיעים עליהם. בית גידול הוא מונח שמתייחס למכלול התנאים לקיומו של מין יחיד, **ומערכת אקולוגית** (Ecosystem) היא מערכת של תנאים א-ביוטיים ומרכיבים ביוטיים שמקיימת מינים רבים, אשר יש ביניהם יחסי גומלין. דוגמאות לתנאים א-ביוטיים הם טמפרטורה, לחות, קרינה וכו'. המרכיבים הביוטיים הם היצורים החיים המחולקים ליצרנים, צרכנים ומפרקים, המהווים יחד את מרכיבי המערכת האקולוגית. נגדיר: שירותי המערכת האקולוגית (Ecosystem services) הינם תהליכים ורכיבים במערכות האקולוגיות המשפיעים באופן ישיר או עקיף על רווחת האדם, ושמפקות מהם תועלות לקיום האדם.

שקופית 5:

אנו מקבלים את השירותים הללו בחינם (אם כי יש לזה, כמובן, מחיר שאליו נתייחס בהמשך).

חלק משירותי המערכת הם מוצרים שמנוצלים ישירות לתועלת האדם, למשל: דגים ומאכלי ים, בשר ציד, עץ להסקה ולבנייה, מספוא להאכלת חיות משק, חומרים לתעשיית התרופות, אבני חן לתכשיטים. כלכלנים מעריכים כי התועלות ששירותי המערכות האקולוגיות מספקות לאדם מבססים כ-40% מהכלכלה העולמית. אולם, כפי שהזכרנו קודם, חלק משירותי המערכת אינם מוחשיים, אלא מופשטים. למשל: טיהור אוויר ומים, ויסות אקלים, חידוש פוריות הקרקע, פירוק וסילוק פסולת, משאבים גנטיים ורפואיים כמו כן יש גם שירותים רוחניים כגון: השראה והנאה אסתטית, ועוד. אף כי תועלות אלה אינן נסחרות בשווקים כלכליים ואין להן "תג מחיר", הן חיוניות לאדם וחיבותן רבה. מערך שירותים ותועלות זה הוא תוצאה של מערכת מורכבת של יחסי גומלין בין מחזורים טבעיים, המונעים על-ידי השמש ופועלים בטווח רחב של זמן ומרחב.

למרבה הצער, אנו נוטים להבחין בתועלותיהן של מערכות אקולוגיות עבורנו רק כאשר הן נפגעות. למשל: כאשר שלל הדגה התדלדל עקב דיג-יתר, ההיצע בים לא ענה על הביקוש ומחירי הדגים עלו, או לאחר הנזק שנגרם לענף החקלאות בארה"ב בעקבות משבר התמוטטות מושבות הדבורים

ב-2007, או הנזק המתמשך בעקבות כריתת היערות, אשר רק לאחר מעשה הובן תפקידם בויסות מחזור המים (מיתון שטפונות ומניעת סחיפת קרקע) וכמובן במיתון של טמפרטורות קיצוניות.

שקופית 6:

נספר כי בשנים האחרונות גדלה ההבנה שמערכות אקולוגיות מספקות מגוון גדול של שירותים ותועלות, החיוניים לקיום האדם, ושקיימת חשיבות רבה למיפוי וכימות שלהם, כדי להטמיע במדיניות הממשלות בכל העולם שיקולים של שמירה עליהם.

נספר, כי שירותי המערכת האקולוגית ומרכיביה כל-כך שלובים זה בזה, שכל מיון שלהם הוא בהכרח שרירותי, אך בכל זאת נהוג לחלק אותם לשלוש קבוצות. הקטגוריות הללו מבטאות את העובדה שהאדם תלוי במערכת האקולוגית, לקיומו ולרווחתו בהיבטים של כלכלה, בריאות וחברה.

נקריא את סוג השירות וההסבר שלו, ונשאל את התלמידים האם יש להם רעיונות לדוגמאות. לאחר מכן נוכל לפרט רעיונות כפי שמופיעים להלן:

- א. **שירותי אספקה** – מספקים חומרים או משאבים שהאדם צורך. לדוגמה – מזון; מים לשתייה ולהשקייה; חומרי גלם למוצרים; עץ להסקה; גזם לחיפוי קרקע, משאבים לייצור אנרגיה (רוח, שמש), אבנים צמחים וחלקי בע"ח ליצירת קישוטים ותכשיטים.
- ב. **שירותי ויסות** – תורמים ליצירת תנאי סביבה הכרחיים לקיום האדם, ותורמים להגנתו מפני אירועי קיצון. לדוגמה - ויסות ובקרת אקלים; מניעת שטפונות וסחיפת קרקע; הפחתת זיהום אוויר הודות ליכולת הצמחים לקלוט מזהמים; ויסות מחלות ומזיקים; שירותי האבקה לגידולים חקלאיים.
- ג. **שירותי תרבות** – מעשרים את חיו של האדם באמצעות תועלות המופקות מפעילויות פיזיות, אינטלקטואליות או סמליות. לדוגמה – מרחבים טבעיים לפעילויות ספורט, פנאי והפגת מתחים; תוכן לפעילויות חינוך, מורשת, אמנות ותרבות, השראה והנאה אסתטית

שקופית 7:

נראה את האזור של "העץ הנדיב" מספרו המפורסם של סילברסטיין.

נבקש מאחד התלמידים לסמן על גבי העץ כמה שיותר שירותים שהוא מעניק, משלוש הקבוצות, ולשייך אותם לקבוצה הנכונה. למשל: הצמרת שלו מעניקה צל, כלומר – שירותי ויסות אקלים. הגזע שלו מעניק חומר גלם לרהיטים, כלומר – שירותי אספקה. הילד מטפס על העץ וכאשר הוא מתבגר הוא מגיע עם אהבתו לפגישה ליד העץ – כלומר, שירותי תרבות.

שקופית 8:

נציין שוב כי החלוקה לקבוצות היא שרירותית, כי למעשה כפי שראינו מהדוגמה של "העץ הנדיב", עץ אחד בלבד יכול להעניק לאדם כל-כך הרבה שירותים ותועלות! אז על אחת כמה וכמה מערכת אקולוגית שלמה, שבה כל המרכיבים קשורים זה בזה.

בנוסף, במערכות האקולוגיות קיימים מרכיבים שאנחנו לא מבינים את התועלת שיש לבני האדם מהם, לפעמים הם נראים לנו אפילו מזיקים או מטרידים, אבל אם נבדוק זאת לעומק נגלה כי יש בהם תועלת, גם אם לא באופן ישיר. נקריא את השיר "לשם מה קיימים יתושים בעולם" מאת נתן אלתרמן (ראו נספח א').

נציין, כי אף שהשיר הומוריסטי, האמת בבסיסו שרירה וקיימת: לא העובדה שילדים מגיעים מחסידות... אלא העובדה שבין המרכיבים מתקיימים יחסי גומלין, ולפיכך אם פוגעים במרכיב קטן אחד אין לדעת באיזה אופן זה ישפיע עלינו, בני האדם.

הביולוג המפורסם אדוארד או. וילסון מאוניברסיטת הרווארד, המומחה לחרקים ולפרוקי רגליים, או לדבריו: חוקר את "היצורים שניתן לאחוז בין האצבע והאגודל", אמר על אותם יצורים קטנטנים: "הם לא צריכים אותנו, אבל אנחנו צריכים אותם".

אחד המסרים המרכזיים של וילסון הוא שאף כי המדע והטכנולוגיות היום מפותחים מאוד, למעשה אנו חיים בכוכב, שברובו עדיין לא נחקר. מרבית היצורים על פני כדור הארץ הם קטנטנים, והם אינם מוכרים עדיין למדע. כך למשל, חיידק ימי בשם פרוכלורוקוקי, שמוכר כיום בתור האורגניזם הכי נפוץ בכדור הארץ ויתרה מכך, אחראי לחלק גדול מהפוטוסינתזה המתקיים באוקיינוס ויתכן שהחיים בים תלויים בו, התגלה רק בשנת 1988. החיידקים האלה לא התגלו מוקדם יותר מכיוון שהם כל-כך זעירים עד שלא ניתן לראותם במיקרוסקופ אופטי רגיל. ניתן רק לשער כמה עוד מיקרו-אורגניזמים כאלה קיימים, שאנחנו כלל לא יודעים על קיומם ועל היקף השפעתם על המערכות האקולוגיות, ושאם נפגע בהם – אנו עלולים לפגוע גם בחיים האנושיים.

החיים שלנו תלויים ביצורים הקטנטנים הללו. דוגמה נוספת: ישנם מעל 500 מיני חיידקים ידידותיים החיים איתנו בסימביוזה בתוך הפה והגרון, והם כנראה הכרחיים לבריאותנו ולהדיפת חיידקים פתוגניים.

(קישור להרצאת TED מתורגמת של וילסון – ראה ברשימה הביבליוגרפית בסוף מערך השיעור).

שקופית 9:

המגוון הביולוגי (biodiversity) הוא מונח השלב שתי מלים: עולם החי (bio) ומגוון (diverse). מגוון ביולוגי הוא המדד לשונות בטבע, לשפע ולרבגוניות של היצורים החיים במערכת אקולוגית או באתר מוגדר כלשהו.

היבט נוסף לחשיבות של שמירה על מערכות אקולוגיות ועל המגוון הביולוגי לטובת שירותי-מערכת עתידיים, הוא בתחום הבטחון התזונתי. היכולת של בני האדם להגדיל את היבול של גידולים חקלאיים ואת העמידות שלהם בפני מפגעים שונים, לטובת מזון לאוכלוסייה העולמית ההולכת וצומחת, קשורה בהיכרות עם גנים נוספים המצויים במינים של צמחי-בר.

דוגמה ידועה הממחישה עד כמה המידע הגנטי הוא רב ערך לאדם הוא הסיפור של האורז. בעבר היו בהודו כ-110 אלף זנים של אורז, בעלי מגוון רחב של תכונות, כגון: עושר בחומרי הזנה חיוניים, יכולת לשרוד שיטפונות, בצורות, מליחות או מתקפות מזיקים. אך החקלאים החלו לעבור לזנים עתירי-יבול, וזנחו גידול של הרבה זנים מסורתיים המבוססים על מיני-בר קדומים.

משמעותה של האחידות הגנטית של גידולים היא שלצמחים הללו עלולות לחסור התכונות שיאפשרו להם להתמודד עם פגעי מזג האוויר, שינויים סביבתיים, וירוסים וכדומה. אלפי זנים של אורז מאזורים שונים ברחבי העולם נסרקו עד שנמצא זן עמיד בפני וירוס שתקף את האורז המתורבת.

בנוסף, הכלאות אורז מודרניות מתמקדות בעיקר בהגדלת תנובת הגרגרים, אולם זנים מסורתיים רבים מכילים מיקרו-נוטריינטים (ויטמינים ומינרלים) רבים שחסרים בזנים המודרניים. לזנים מסורתיים מסוימים עשויים להיות גם שימושים רפואיים.

בהקשר זה, נציין כי ישראל היא אחת משבעת אתרי ערש החקלאות בעולם. קיימים בה כ-30 מיני בר של צמחים, שהם "אבות" מיני תרבות. לדוגמה גן משיבולת-שועל מזן הבר הישראלי, המקנה עמידות בפני מחלות, משמש להגנה על זנים מסחריים בארצות הברית.

בזכות השמירה על המגוון הביולוגי, יתכן שנסוץ על הגידולים המסורתיים המשמשים למזון, יוכל האדם לגלות עוד מיני מזון חדשים, וזאת משום שכיום חלק קטן מאוד מכל הצמחים הקיימים בעולם משמשים אותנו לאכילה.

שיעור שני

שקופית 10:

נספר את הסיפור של אי הפסחא, אי מבודד השוכן בדרום-מזרח האוקיינוס השקט. באי נמצאים מאות פסלי אבן עצומים, השוקלים עשרות טונות, וצורתם ראשי-אדם. הפסלים, המכונים מואי (Moai), סיקרנו את משלחות החוקרים האירופאיים שהגיעו אליו במהלך המאה השמונה-עשרה והתשע-עשרה. מה אלה הפסלים הללו? מי יצר אותם? כיצד – בהיעדר טכנולוגיות מודרניות וכלי עבודה ממתכת – כיצד הובילו אותם למרחק של קילומטרים רבים מאתר החציבה המרכזי וכיצד העלו אותם לבמות המוגבהות שעליהן הם מוצבים? למה שימשו הפסלים?

חלק מהתעלומות טרם נפתרו, אולם יש אנשים הרואים בסיפורו של האי משל מצמרר לעולם כולו. כאשר הגיעו האירופאיים לאי, הנוף שאפיין אותו היה ערבות דשא, והיו בו תרנגולות בלבד. מהמחקרים עלה כי בעבר, לפני שהתיישבו בו בני-אדם, היה רוב האי מיוער בדקלים מסוגים שונים. משערים כי המתיישבים הראשונים הגיעו לאי הפסחא מפולינזיה בערך בשנת 400 ומצאו אי בתולי, מכוסה ביער סוב-טרופי שופע ובו כ-30 מיני עופות. קצב גידול האוכלוסייה באי הקטן הלך וגבר, עד שהגיע לשיא של 10,000 - 20,000 איש. התרבות שהתפתחה שגשגה ונקראה רפאנואי (Rapanui). החוקרים הסתקרו לדעת מה קרה לתרבות המשגשגת שהצליחה ליצור ולהוביל כאלה פסלים עצומים? מדוע נעלמה? עשרות שנים של מחקר מעמיק הובילו לטענה כי התרבות שהתקיימה באי הפסחא התמוטטה בעקבות ניצול-יתר של משאבי הטבע בידי המתיישבים באי: דלדול מקורות המים וכריתת העצים. באי הפסחא, המילה ראקו, שבפולינזיה היא עץ, מציינת עושר, ולא בכדי: הרפנואי השתמשו בעץ כמעט לכל דבר: הם אכלו את פירות העצים ואת הציפורים שחיו על העצים; בנו בתים מכפות הדקלים; יצרו בגדים מהקליפה; שרפו עץ לבישול ולחימום ובנו מהעצים סירות, ציוד דיג, ומנפים ומסועים להעברת פסלי האבן ממקום למקום. עם אובדן העצים אבדו להם אפוא חומרי הגלם ומקורות מזון, וכמו כן נהרסה ההגנה שהעניקו העצים מפני סחיפת קרקע. נפגעה הכלכלה, ובעקבותיה גם התרבות והדת. בשנת 1680 השתלטו על האי המנהיגים הצבאיים,

והחלה מלחמת אזרחים, במהלכה פלגים שונים החלו להפיל את פסלי המואי. הפסל הזקוף האחרון נראה על ידי מבקרים אירופים בשנת 1838 (כל הפסלים שניצבים היום הועמדו מחדש בזמננו). כאמור, יש המתייחסים להיסטוריה של אי הפסחא כ"תמרור אזהרה" לעולם, בו הולכת ומתפשטת "תרבות הצריכה המערבית", המכלה את משאבי העולם, בלי חשיבה על הדורות הבאים. הם רואים בסיפור האסון האקולוגי של אי הפסחא את התרחיש הגרוע ביותר שעלול לקרות לכולנו, אם נמשיך להתנהג אל כדור הארץ באופן שבו אנו מתנהגים.

שקופית 11:

סיפורו של אי נוסף באוקיינוס השקט יכול אף הוא ללמד על שירותי המערכת האקולוגית וההשלכות האפשריות במקרה של ניצול-יתר של משאבי טבע. זהו סיפורו הדרמטי של האי נאורו (Nauru), שידע עלייה מטאורית ונפילה קשה וכואבת, תוך כמה עשרות שנים, וכל זאת קרה ממש לא מזמן – במאה העשרים.

בנאורו מתקיימת מדינת האי העצמאית הקטנה ביותר בעולם הן מבחינת גודל האוכלוסייה והן מבחינת השטח (כ- 13,000 תושבים בשטח של כ- 20 קמ"ר). יחד עם זאת, בזכות מרבצי הפוספטים הטהורים והגדולים שהתגלו באי בראשית המאה העשרים, היא הייתה לאחת מהמדינות העשירות בעולם. פוספט (בעברית: זרחה) הוא מינרל המשמש בתעשיות הכימיות, בחקלאות (לדישון) ובתעשיות המזון (כחומר משמר). במשך כמה עשרות שנים נשענה כלכלת האי על כריית פוספטים, אשר יוצאו ונמכרו ברחבי העולם, המדינה התעשרה ורמת החיים של תושבי האי הקטנטן הייתה גבוהה ביותר, עד כדי כך, שבתחילת שנות ה-80 של המאה העשרים היא דורגה במקום השני ברשימת הארצות העשירות בעולם לנפש. ברם, החל מאמצע שנות השמונים של המאה העשרים מקורות הפוספטים הלכו ופחתו, עד שכמעט כלו לחלוטין. למעשה – מרבית האי "גולח" כתוצאה מכריית הפוספטים שנעשתה ללא חשבון. בעקבות זאת חוו תושבי נאורו שפל כלכלי אדיר, שהוביל גם לחוסר יציבות פוליטית. המצב הקשה של האי הוביל אותם לנסות למצוא פתרונות "יצירתיים" למקורות הכנסה, וכך למשל בשנות ה-90 החלה המדינה לאפשר לזרים לרכוש (בתשלום) דרכונים שלה, לאפשר לכל מי שרוצה לייסד בנק במדינה לעשות זאת תמורת 25,000 דולר, בלא מתן הסברים ועוד דברים חריגים שהפכו אותה למקלט מס ומעוז חביב על מלביני הון.

שקופית 12:

דוגמה נוספת ל"דגם" של מערכת אקולוגית והאופן שבו חברה אנושית משתמשת בשירותיה הוא ניסוי מדעי בשם "ביוספירה 2".

נשאל: מהי הביוספירה?

נאמר כי הביוספירה היא סך כל המערכות האקולוגיות הקיימות בכדור הארץ. שם הניסוי היה "ביוספירה 2", כי המטרה הייתה ליצור מערכת סגורה המדמה את כדור הארץ. נספר כי בסוף שנות ה-80 של המאה העשרים בנתה אוניברסיטת אריזונה בארצות-הברית מתקן שמטרתו לחקור, ללמד וללמוד על כדור הארץ, המערכות שעל פניו ויחסי הגומלין ביניהן (בין בני האדם, החקלאות, הטבע, וכד') וגם לבדוק אפשרות עתידית של חיים בחלל. זהו מבנה מרשים בעל כיפות גאודזיות ופירמידות, בשטח של כ- 12 דונם, שנבנה כמערכת אקולוגית מלאכותית סגורה, והכיל במקביל איזורי אקלים וצמחיה שונים: יער גשם, שונית אלמוגים, סוואנה, ביצה ועוד.

בשנת 1991 צעדו שמונה מדענים (ארבע נשים וארבעה גברים) למבנה התחום והמסוגר של "ביוספירה 2", במטרה לחיות בתוכו במשך שנתיים תמימות. במבנה התקיימה אטמוספירה עצמאית ומנותקת מזו של כדור הארץ, שאמורה הייתה לספק לאנשים שיחיו בה את כל צרכיהם. המזון, המים, החמצן והפסולת, כולם טופלו במערכות סגורות ועל ידי מחזור. המשתתפים גידלו את המזון בעצמם, טיפחו את החיות וכדומה.

זה נשמע כמו מדע בדיוני, אך זה לא היה בדיון... זה ניסוי שבוצע באמת. רק שהוא קרס וחוסל לפני המועד המתוכנן. בפועל, אנשי צוות העבירו לתוך המתקן משלוחים רבים ובהם זרעים, ויטמינים, מלכודות עכברים ועוד. באיזשהו שלב החלה נפילה בריכוז החמצן ב'ביוספירה 2' משום שבאדמה נוצר עומס של חיידקים זוללי חמצן, המערכת האקולוגית סבלה מחוסר יציבות (למשל יונקי הדבש והדבורים מתו, והיבולים נותרו ללא מאביקים – מה שניבא את הכחדתם העתידית של מרבית מיני הצמחים, חלה התפוצצות אוכלוסיה של נמלים, חגבים וג'וקים וגידול-יתר של צמחים מטפסים). מסקנתם של ביולוגים ואקולוגים רבים הייתה שאיש עדיין אינו יודע כיצד להנדס מערכות המספקות לבני אדם שירותים תומכי חיים שמערכות אקולוגיות טבעיות מספקות "בחינם".

אמרנו קודם שנדבר על המילה "חינם", או על התפישה שהטבע מעניק לנו "מתנות". ישנה אמירה "אין מתנות חינם", ואמנם עכשיו אנחנו כבר מבינים שלכל התערבות במערכות האקולוגיות יש השלכות, המשפיעות על מינים שונים בטבע אבל גם באופן ישיר או עקיף על התועלות לאדם ועל רווחתו. כלומר – לכל דבר יש מחיר. בהמשך נעמיק את הדיון בנושא, ובין כיצד אומדים את המחיר ובוחנים חלופות.

שקופית 13:

האם סיפורם של האיים הקטנים ושל פרויקט ה"ביוספירה" מרמז על מה שעתיד לקרות לאיים גדולים יותר? ליבשות? לכדור הארץ כולו? האם זה מה שצפוי לנו אם נכרות את הענף עליו אנחנו יושבים? מה שבטוח הוא שישראל אמנם איננה מדינת אי, אבל היא מדינה בעלת שטח קטן יחסית ולחצי פיתוח גדולים. כך שכדאי לנו להכיר את סיפוריהם של אי הפסחא והאי נאורו ושל פרויקט "ביוספירה" ולהפיק מהם לקחים.

נספר כי אוכלוסיית ישראל מנתה נכון למרץ 2021 כ-9.3 מיליון תושבים (נתונים אלה לא כוללים עובדים זרים, תיירים וכדומה – כלומר יש להניח שבפועל חיים ישראל הרבה יותר אנשים). ישראל היא המדינה בעלת קצב גידול האוכלוסין המהיר ביותר מבין המדינות המפותחות, ואחת המדינות בעלות צפיפות האוכלוסין הגבוהה בעולם. עד 2040 צפויה ישראל להפוך למדינה הצפופה ביותר ב OECD (הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי של המדינות המפותחות המקבלות את עקרונות הדמוקרטיה והשוק החופשי).

לאור הנתונים הללו ברור שחייבים לפתח פתרונות דיור. בניית שכונה חדשה גורמת להסרת התכסית הצמחית של מערכת אקולוגית כלשהי ואף עשויה לגרום לקיטוע של המערכות שנותרו. מערכות אקולוגיות עם תכסית צמחית מפותחת, מספקות בתי גידול למגוון מיקרואורגניזמים, שחשיפה אליהם מאפשרת למערכת החיסון ליצור מנגנוני הגנה בפני מחלות (כגון מחלות אוטואימוניות, אלרגיות, דלקות של מערכת העיכול, סכרת מסוג 2). בנוסף, נגישות למערכות אקולוגיות טבעיות בערים ויישובים או מחוץ להם, מאפשרת פעילות גופנית, טיולים, תיירות ונופש שתורמים לבריאות הפיזית והנפשית של בני האדם. כתוצאה מבניית השכונה, ישתנה המגוון הביולוגי של התכסית הצמחית והשירותים שסופקו על ידה. אולם, כאמור, אין ספק שצריך לספק מגורים נאותים לכל תושבי ישראל, השאלה היא **אילו והיכן**. ברור כי לכל התערבות במערכות האקולוגיות יהיו השלכות על התועלות לאדם ועל רווחתו, על כן חשוב לשקול היטב את התמורות (trade-offs) בין החלופות.

נשאל: אילו חלופות הייתם מציעים לבניית שכונה?

פעולה מתוך גישת "שירותי המערכת האקולוגית", המדגישה את הקשר והתלות של התושבים במערכות אקולוגיות בריאות ומתפקדות, יכולה לתרום לשמירה על הטבע ועל השטחים הפתוחים. המערכות האקולוגיות והמגוון הביולוגי שבהן מושפעים משורה של גורמים המחוללים בהם שינויים, באופן ישיר או עקיף. בעזרת הגישה הזו, אנשי מקצוע מתחומים מגוונים, שלעתים הם בעלי אינטרסים שונים ואף מנוגדים, יכולים לאסוף מידע באופן עקבי, לקיים דיונים על חלופות תכנוניות וניהוליות שונות לכל פרויקט פיתוח ולהוביל לקבלת החלטות יותר מושכלת.

נספר כי כיום, פעמים רבות הגופים שעוסקים בשמירת טבע וסביבה לא מתנגדים לתכניות פיתוח מבלי להציע להן חלופות ריאליות, שיפגעו פחות במערכת האקולוגית. למשל – אם מתוכנן כביש במקום שבו יש ערכי טבע ונוף מיוחדים או מערכת אקולוגית רגישה במיוחד, הם מציעים תוואי אחר, או פיתוח של תחבורה ציבורית.

החל מסוף המאה העשרים מקובל לדבר על **פיתוח בר-קיימא** - העונה על צרכי ההווה מבלי להתפשר על יכולתם של דורות העתיד לענות על צרכיהם. כלומר, פיתוח שבו ניצול המשאבים נעשה בקצב המאפשר לתהליכים הטבעיים לחדש את המשאבים שנוצלו.

שקופית 14:

נציג את המקרה הבא, שמהווה דוגמה לדילמה תכנונית ולשתי חלופות שהוצגו: ראש המועצה המקומית בית ג'אן, כפר הממוקם בלב שמורת טבע הר מירון אשר בגליל העליון, ביקש להקים מגרש כדורגל מרכזי, בחלקו המערבי של היישוב, בשטח אשר נמצא בתחום שמורת הטבע (מסומן במפה כ"חלופה 2"). הבקשה הופנתה לרשות הטבע והגנים (רט"ג). בדיון תכנוני שהתקיים ברט"ג עלו השיקולים הבאים:

לבנייה בשטח המבוקש יש השלכות בעלות היבטים אקולוגיים משום שמדובר על אזור של מדרון טבעי.

בנוסף, יש למיקום המוצע היבטים נופיים – השטח ממוקם על פסגת הרכס ונצפה מכל הסביבה, ויהיה צורך בהכשרת קרקע נוספת כדי להתאים את השיפוע לצרכים של מגרש כדורגל.

לפיכך, הוצעה על ידי רשות הטבע והגנים "חלופה מזרחית" (המסומנת במפה כחלופה 1): לבנות מגרש כדורגל בשטח מבונה, בתחום היישוב ולא בתחום השמורה, צמוד-דופן לתכנית המתאר הכוללת החדשה של בית ג'אן. ראש המועצה קיבל את עמדת רשות הטבע והגנים ובכך נמנעה פגיעה קשה בשטח טבעי ומשופע בתחום השמורה – מחד, וניתן מענה לצרכי הפיתוח של היישוב - מאידך.

שקופית 15:

נציג דילמה נוספת, המייצגת מתח בין צרכים שונים מן המערכת האקולוגית ובין הרצון להגן עליה: שיפוץ מעיינות. במדינת ישראל קיימים מעט מקורות מים טבעיים (מעיינות ונחלים). מחד המדינה "ענייה במים" (במיוחד בנגב המדברי) ומאידך, כפי שהזכרנו קודם, האוכלוסייה בישראל גדלה בקצב מהיר. לפיכך הביקוש למים גדול, הן לצרכי האדם (לשימושים שונים: לשתיה, להשקייה וחקלאות, לנפש ובילוי וכד') והן לצרכי הטבע, משום שהמים הם כמובן גם מקור החיים לצומח ולבעלי חיים והבסיס המרכזי בקיומן של מערכות אקולוגיות.

בשנים האחרונות, נפוצה בישראל תופעת "שיפוץ מעיינות". מדובר באנשים

שנוטלים יוזמה, מטילים את מי המעיינות ואוגרים אותם בבריכה כדי לאפשר רחצה במי המעיין. בדרך כלל מדובר ביוזמות שנעשות על ידי תושבים מקומיים, חובבי טבע, תנועות נוער ולעיתים ביזמת מוסדות או גופים רשמיים. לעיתים משפצים את המעיינות במטרה שישמשו כמקוואות או במסגרת "מפעל זיכרון" פרטי, של אנשים שמעוניינים להנציח כך את יקריהם. רבים מהם עושים זאת כדי ליצור פינת חמד שתשמש גם אחרים, בהתנדבות וללא מטרות רווח. שיפוץ המעיין נעשה לעיתים קרובות דווקא בידי אנשים שאוהבים את הטבע, מתוך הרצון להגביר את ההנאה מהשהות בו, ואין הם מודעים לפגיעה ולנזק שמעשיהם גורמים.

ברם, השיפוץ מהווה שינוי הרסני של הסביבה הטבעית של המעיין: מבטל את המצע הטבעי, משנה את הצמחיה ואת הנישות האקולוגיות, המאפשרות מגוון בתי גידול ועושר של מינים. השיפוץ משנה בדרך-כלל את ערוץ הזרימה, פוגע במשטר הזרימה, בעוצמתו, ברצף הזרימה.

בעקבות השיפוץ, שהופך את המעיין למקום מהנה לרחצה ולשכשוך, נוהרים אליו המוני ישראל, ועצם הכניסה למעיין פוגעת גם היא במערכת האקולוגית, מהסיבות הבאות: א. כניסת מתרחצים למים גורמת להרחפת חומר מהקרקעית אל גוף המים ולעכירות המים. כתוצאה מכך חדירת האור למים יורדת, וחלה הפחתה בתהליך הפוטוסינתזה, ועקב כך קטנה כמות החמצן (המומס במים). ב. המתרחצים במעיינות עלולים לרמוס צמחיית נחלים ובכך לפגוע במערכת האקולוגית. ג. לעיתים רחצה במים ושהייה ממושכת באזור מקורות המים גוררת גם השלכת פסולת והעשרת המים בחומרים אורגניים שאינם חלק טבעי במערכת האקולוגית. ד. שהות המטיילים בסביבת המעיין מקטינה נגישותו כמקור מי שתייה זמין לבעלי-חיים.

נחלק את התלמידים לארבע קבוצות, המייצגות צרכים ואינטרסים שונים, ונבקש מהם להעלות כמה שיותר טיעונים בעד / נגד שיפוץ מעיינות. בנוסף, נבקש מהם להעלות פתרונות למצב (למשל: להקים גוף יעודי, שאליו יוכל הציבור הרחב לפנות במקרה שירצו לשפץ מעיינות, כדי לקב הנחיות כיצד לבצע זאת מבלי להזיק למערכת האקולוגית). ניתן לחלק את התלמידים לקבוצות הבאות: א. רשות הטבע והגנים ב. מטיילים ג. תושבים מקומיים ד. החברה להגנת הטבע

שקופית 16:

נספר, שבנייה (למגורים, לכבישים וכד') היא הגורם הישיר העיקרי שפוגע במערכות האקולוגיות בישראל, אך היא לא הגורם היחיד. השילוב בין גידול האוכלוסין בישראל לשטחה המצומצם של המדינה ולתרבות הצריכה, הגורמת לנו לקנות הרבה מוצרים ועקב כך להשתמש שימוש-יתר במשאבי טבע, מוביל ללחץ רב על המערכות האקולוגיות במדינה.

מלבד שימוש בקרקע טבעית לבנייה קיימים שינויים נוספים בשימושי קרקע, המשפיעים על המערכות האקולוגיות, למשל הפיכת שטחים טבעיים לשטחי חקלאות אינטנסיבית. גורמים נוספים לפגיעה במערכות אקולוגיות הם זיהום (מים, קרקע ואוויר), ניצול יתר של משאבים (למשל: בזבז מקורות מים מתוקים, דיג-יתר), שינויי אקלים ומינים פולשים. **המינים הפולשים** הם מינים שפרטיהם חרגו מתחום תפוצתם הטבעי בעקבות פעילות אנושית (באופן מכוון, כמו הבאת תוכי הדררה לגני החיות בארץ, או שלא במכוון- כמו מזיקים שהגיעו לישראל על גבי פירות מיובאים). המינים הפולשים לא היו חלק מן המערכת האקולוגית הטבעית באזורנו, והם גורמים לשינויה ופוגעים במינים מקומיים (למשל, משום שלעתים אין להם כאן אויבים טבעיים ולכן הם עלולים להתרבות ולפגוע במינים המקומיים, או בשל התחרות על אותם משאבים). דוגמה ידועה היא הציפור דררה הירוקה, שהובאה לישראל בשנות ה-60 בשביל פינות חי, ומאז התפשטה בארץ, תוך מאבק אגרסיבי על נקודות קינון. הדררות תופסות תרי קינון ודוחקות מהם את המינים המקומיים.

שקופית 17:

במסגרת פרויקט של "המארג" - התכנית הלאומית להערכת מצב הטבע - הוגדרו שש קבוצות של מערכות אקולוגיות בשטחה היבשתי והימי של מדינת ישראל:

1. מערכות החבל הים תיכוני. כוללות את המערכות האקולוגיות היבשתיות הטבעיות והנטועות שבאזור האקלים הים-תיכוני: מערכות החורשים והבתות, היערות הנטועים, החולות והכורכר שבמישור החוף.
2. המערכות המדבריות. כוללות את המערכות האקולוגיות הבעיות והנטועות שנמצאות באזור האקלים המדברי, דרומית לקו הצחיחות, המוגדר לפי יחס של 20% בין כמות המשקעים לכמות המים שמתאדה.
3. המערכות הימיות. כוללות את הים התיכון ומפרץ אילת, שבתחומי המים הכלכליים של ישראל, והחקלאות הימית.
4. מערכות מקווי המים הפנים-ארציים. כוללות את כל מקווי המים שבאזור היבשתי של ישראל: הטבעיים-נחלים ומעיינות, כנרת, החולה, ים המלח ובריכות חורף, ואת מאגרי המים ובריכות הדגים שנוצרו בידי האדם.
5. המערכות החקלאיות. כוללות את כלל שטחי החקלאות הצמחית של ישראל: מטעים, גידולי שדה וחממות / בתי רשת.
6. המערכות של ערים ויישובים. כוללות את כלל שטחי היישובים בישראל, שמורכבים מפסיפס של שטחים פתוחים ושטחים מבונים.

אף על פי שישאל היא מדינה קטנה יחסית, בשל מיקומה הגיאוגרפי של ישראל במפגש בין שלוש יבשות, המגוון האקלימי, הגיאולוגי והטופוגרפי שבה, קיים בה מגוון ביולוגי עשיר ויחודי. מיפוי עולמי של המקומות בעלי המגוון הביולוגי הרב ביותר העלה שישאל היא אחד המקומות החשובים ביותר לשמירה על המגוון הביולוגי והיא הוגדרה "אזור חם" מבחינת השמירה עליו.

דוגמאות לשירותים המסופקים במערכות אקולוגיות שונות בישראל וליחסי הגומלין ביניהם:

- א. שירות ויסות איכות המים, מסופק על ידי המגוון הביולוגי של מערכות הנחלים (למשל באמצעות דגים וצמחי גדות), מגביר את אספקת שירותי התרבות של נפש והנאת המבקרים משהות ופעילות באותה המערכת.
- ב. תפוקת שירותי האספקה של גידולי שדה ומטעים, התלויה בשירות האבקת גידולים חקלאיים, המסופק גם באמצעות מיני חרקים מאביקים שבמערכות הטבעיות, למשל במערכות החבל הים-תיכוני הסמוכות.

לפיכך, ישנה חשיבות גדולה לשמירה על המגוון הביולוגי בישראל, שכן בלעדיו תצטמצמנה התועלות של השירותים המופקים מהמערכות האקולוגיות במדינה, ואיכות החיים של תושבי המדינה תיפגע.

שקופית 18:

יתרונות גישת שירותי המערכת רבים, אך לעתים נמתחת עליה גם ביקורת, בעיקר לגבי החסרונות הבאים:

א. הגישה נחשבת לאנתרופוצנטרית (אנתרופוס = אדם, צנטרום = מרכז). כלומר, היא מתמקדת בכך שהאדם משתמש בטבע והטבע משרת אותו. אימוץ הגישה עלול לפגוע בהכרה בטבע כבעל ערך העומד בפני עצמו, ובכך שהמערכות האקולוגיות ראויות להגנה בלי קשר לתועלת שהאדם מפיק מהן.

כתשובה לכך מדגישים תומכי הגישה כי היא אינה מתייחסת רק אל האדם, אלא לאדם כחלק מהמערכת כמו כל שאר המינים החיים בה. היא שמה דגש על הקשר והתלות בין כל המרכיבים ויוצרת חיבור של הטבע והחברה.

ב. הגישה גורמת ל"מיסחור" של הטבע. הדיונים שמתקיימים לאורה של הגישה מתמקדים במונחים של יעילות ורווחיות, אומדים את ערכן של מערכות טבעיות במדדים כספיים. בעקבות זאת, הצורך להכיר בכך שמערכות אקולוגיות ראויות להגנה מסיבות ערכיות ומתוך שכנוע פנימי בחשיבותן עלול להידחק הצידה.

כתשובה לכך מדגישים תומכי הגישה כי היא אינה מסתכמת רק בהצמדת ערכים כספיים לשירותי מערכת, אלא הם נמדדים גם באופן איכותני (למשל, ערכים חברתיים ובריאותיים), וכי ברור לכל העוסקים בתחום כי ההערכות הכלכליות של שירותי מערכת אקולוגית לא מדויקות והן בהכרח הערכות חסר (כלומר, הן לא משקפות את מלוא התועלת של השירותים).

הערך האמיתי של שירותי מערכת אקולוגית מסויימת שנבחנת צפוי להיות גבוה בהרבה ממה שמעריכים) בגלל מחסור בנתונים וידע בהערכה הכלכלית של שירותים רבים, בפרט של שירותי וויסות ובחלק משירותי התרבות, ואף של שירותים שהפוטנציאל שלהם טרם מומש, כמו תרופות בתהליכי פיתוח. לסיכום, ברור לכולם כי מאוד מורכב עד כדי בלתי אפשרי לתת ערך כלכלי מדויק לכל השירותים המסופקים על ידי מערכת אקולוגית מסויימת.

נספח 1 - לשם מה קיימים יתושים בעולם / נתן אלתרמן

לשם מה קיימות חסידות בעולם?	לשם מה קיימים יתושים בעולם?
חסידות, לשם מה קיימות?	יתושים, לשם מה קיימים?
הן תמיד נודדות, משחיתות השדות, גם אינן חכמות, רק להרס גורמות	מטרידים ועוקצים, דם אדם מוצצים מן הדם מתקיימים ורק גרוד גורמים.
לשם מה הן בכלל קיימות?	לשם מה הם בכלל קיימים?
חסידות, זה ברור, מביאות ילדים אשר יהיו אנשים נחמדים. חסידות מביאות ילדים!	יתושים קיימים בשביל צפרדעים ובשרם לחיכם הוא ערב וטעים קיימים הם בשביל הצפרדעים!
לשם מה קיימים אנשים בעולם?	לשם מה קיימות הצפרדעים בעולם?
אנשים, לשם מה קיימים? הם הופכים עולמות ועושים מלחמות לשם מה הם בכלל קיימים?	צפרדעים, לשם מה קיימות? בביצה הן עומדות, מקרקור כבר צרודות מיתושים מתקיימות וחירוש רק גורמות. לשם מה הן בכלל קיימות?
קיימים הם בשביל היתושים אשר קיימים מדם אנשים!	צפרדעים קיימות בשביל החסידות שאותן הן בולעות ועל רגל אחת עומדות. קיימות הן בשביל החסידות!
לכן אל תתגאה אדם ואל תרבה קושיות. לכל יצור כאן בעולם יש סיבה לחיות ואל תפגע נא ביתוש שעל אפך עומד יבוא יום ובגללו עוד ילד יולד!	

ביבליוגרפיה והמלצות לקריאה נוספת:

* עשינו כמיטב יכולתנו לאתר את בעלי הזכויות של כל החומר ממקורות חיצוניים. אנו מתנצלים על כל השמטה או טעות. אם יובא הדבר לידיעתנו נפעל לתקנו.

קישורים למאמרים ולחומרי-רקע נוספים:

- השלכות שינוי האקלים על מערכות אקולוגיות בישראל ודרכי היערכות לקראתן, אקולוגיה וסביבה, ינואר 2020.
- שירותי המערכת האקולוגית: סוגי תועלת המסופקים לחברות אנושיות על ידי מערכות אקולוגיות טבעיות, קמפוס טבע, אוניברסיטת תל-אביב, 2005
- לשקם את המגוון הביולוגי של האורז, דבאל דב, מכון דוידסון למדע
- שילוב שיקולי המגוון הביולוגי בתהליכי קבלת החלטות במגזר הציבורי, החברה להגנת הטבע, 2012
- IPBES -הפלטפורמה הבין-ממשלתית לנושא שירותי מערכת ומגוון ביולוגי
- הרצאת TED (מתורגמת לעברית) של הביולוג אי או וילסון
- התשובה עם דורון פישלר - תסכית רדיו (פודקאסט) על האי נאורו - חלק א'
- התשובה עם דורון פישלר - תסכית רדיו (פודקאסט) על האי נאורו - חלק ב'
- מערכות אקולוגיות ורווחת האדם, דו"ח ביניים, המארג, 2017
- מגוון ביולוגי- שאלות ותשובות, רשות הטבע והגנים
- מה הוא המגוון הביולוגי? המשרד להגנת הטבע?
- אתר האינטרנט של הניסוי 'ביוספירה 2'
- שירותי מערכת - מתוך האטלס של המשרד להגנת הסביבה האמריקאי
- שיפוץ מעיינות - מתוך אתר החברה להגנת הטבע
- אתר "צפוף" - נתונים על צפיפות אוכלוסין בישראל