

המגוון הביולוגי כערך¹ ד"ר ליה אטינגר

כמה מינים של יצורים חיים קיימים כיום בעולם? התשובה לשאלה זו איננה ידועה למרות שבמשך דורות רבים הקדישו חוקרים את חייהם לתייעוד ומיון סוגי בעלי החיים והצמחים ברחבי העולם. עד היום תוארו על ידי מדענים בין 1.5-1.8 מיליון מינים של יצורים חיים ושההערכות לגבי מספר המינים הקיימים נעות בין 3.6 ל-100 מיליון. ההבדל של שני סדרי גודל בקירוב בין הערכות אלה מלמד על הבורות העצומה של המין האנושי ביחס למגוון הביולוגי. אנו חיים בעיצומו של עידן הכחדת מינים, רובו מעשה ידי האדם. אם תימשכנה המגמות הנוכחיות צפויים כמחצית המינים החיים כיום להיכחד עד סוף המאה. רוב המינים הנכחדים אינם מוכרים ולכן איננו יודעים איך תשפיע הכחדתם. האקולוג הנודע פול ארליך ממשיל את המצב הזה לנוסעים במטוס שמפרקים ברגים בחלקים שונים של המטוס תוך כדי טיסה. ייתכן שהבורג מחבר את המשענת למושב, אך ייתכן גם שפירוק הבורג יפגע בפעולת המנוע. כשם שקיימים הרבה ברגים במטוס, כך קיימים מינים רבים של יצורים חיים על פני כדור הארץ ואין לנו אפשרות לצפות מראש מה תהיינה ההשלכות של הכחדתם. מה שאנחנו כן יודעים הוא שאנו מכחידי חלקים מהמערכות תומכות החיים בכדור הארץ, שכן החיים עצמם הם שיוצרים את התנאים תומכי החיים של כוכב הלכת שלנו. להלן דוגמה אחת המדגימה משל זה. האטמוספירה של כדור הארץ מורכבת מתערובת לא מאוזנת של גזים, אטמוספירה עשירה בחמצן ודלה בפחמן דו-חמצני. הרכב מיוחד זה נוצר ונשמר על ידי קיומו של מארג היצורים החיים. לקיום המין האנושי (ולמינים רבים נוספים) חיונית אטמוספירה עשירה בחמצן שבה ריכוז מתאים של פחמן דו-חמצני החיוני אף הוא לחיים. תופעת התחממות כדור הארץ שעליה קוראים לעתים קרובות בעיתונים, מוכיחה עד כמה מושפע האקלים של כדור הארץ משינויים בריכוז הפחמן הדו-חמצני. למארג החיים יש תפקיד מרכזי בוויסות ריכוז הפחמן הדו-חמצני וריכוז זה משפיע במידה רבה גם על הטמפרטורה ודגם המשקעים באזורים השונים של כדור הארץ. ברור שכמות המשקעים ומנעד הטמפרטורות הם גורמים מרכזיים בקיומן ובריאותן של מערכות אקולוגיות.

המושג 'מארג היצורים החיים' מבטא את החשיבות של יחסי הגומלין בין יצורים חיים על פני כדור הארץ. אפשר לחשב את חלקו של עץ יחיד בוויסות הגזים של האטמוספירה: כמה חמצן הוא מייצר במהלך חייו וכמה פחמן דו-חמצני הוא קולט מהאטמוספירה. אלא שעץ זה אינו פועל לבדו. הוא חלק ממערכת אקולוגית ובתור שכזה הוא משפיע ומושפע מהמארג הכולל של היצורים החיים בסביבתו. יש אינספור סוגים של יחסי גומלין בין היצורים השונים. קשה להעריך כיצד המינים הרבים משפיעים על עץ כלשהו אך ללא ספק השפעתם רבה. למשל, יש מינים המרסנים מינים אחרים שיכולים לגרום לנזק. יש מינים המשפיעים על פוריות האדמה. עצים אחרים יכולים לחסום חלק מאור השמש שמגיע אל העץ וכן הלאה. הבנת מערכות חיים מחייבת ראייה מערכתית. הכחדתו של מין אחד במערכת אקולוגית יכולה להיות בעלת השפעה שולית או השפעה מרחיקת לכת על מארג החיים בסביבה אקולוגית נתונה – בלתי אפשרי לצפות מראש את התוצאה.

כאמור, רוב המינים החיים על פני כדור הארץ אינם מוכרים ואוסף המינים הידועים, יותר משהוא משקף את המגוון הקיים בטבע משקף את התעניינותם הסלקטיבית של החוקרים ואת מקומות מגוריהם. אף על פי שכשני שלישי ממגוון המינים מרוכז באזור הטרופי רק כשליש מהמינים המוכרים שייכים לאזור זה. כמו כן, כיוון שחוקרים רבים מתעניינים ביונקים ובציפורים, יש ידע מדעי רב בנושא זה בעוד שהם מונים רק חלק זעיר מהמגוון הביולוגי. אמנם במשך הזמן מתגלים עדיין מינים חדשים של יונקים וציפורים אך מספרם של אלו קטן וככל הנראה הרוב המכריע של מיני הציפורים והיונקים כבר מוכר למדע. במארג החיים יש הרבה יותר יצורים קטנים מגדולים, ואנחנו מכירים רק חלק זעיר מהם. אם רוב המינים אינם מוכרים, כיצד ניתן להעריך כמה מינים מאכלסים את כדור הארץ?

הדרך שבה נוקטים החוקרים היא דרך של אקסטרפולציה. למשל, דוגמים את כל המינים באזור מסוים, בודקים מה היחס בין המינים המוכרים לבלתי מוכרים ומסיקים מכך לגבי מספר המינים באותו אזור. בדרך זו הגיעו בשנות הששים והשבעים של המאה ה-20 להערכות שונות שנעו בין 3 ל-10 מיליון מינים. אך בשנת 1982 חל מהפך. חוקר בשם טרי ארווין (Terry Erwin) פרסם ממצאי מחקר שערך ביערות הגשם בפנמה. הוא המית באמצעות קוטל חרקים את כל החרקים שרחשו בצמרתו של עץ יחיד, אסף

¹ המאמר לקוח מתוך כתב העת אאוריקה, גליון 16, מגוון המינים, המרכז הארצי למדע, אוניברסיטת תל-אביב. כל הזכויות שמורות למשרד החינוך.

כל החרקים שנפלו על יריעות הפלסטיק בתחתית העץ ומיין אותם. כך נתגלו למעלה מאלף חמש מאות מינים שכ-80% מהם היו חדשים למדע. כאשר חזר על הפעילות בעצים נוספים, הוא גילה שלכל עץ אוכלוסיית חרקים הייחודית לו ולמרבית ההפתעה גם אז היה הרוב המכריע של המינים חדש למדע. ארווין הגיע למסקנה שקיימים לפחות 30 מיליון מיני חרקים, רובם בצמרות העצים של היערות הטרופיים. מחקר זה עורר עניין רב ובעקבותיו נעשו ניסיונות לא מעטים להעריך מחדש את מספר המינים על פני כדור הארץ.

כיום ברור שקיימים אזורים על פני כדור הארץ בעלי מגוון מינים עשיר במיוחד. מקומות אלו מכונים hotspots. בפארק לאומי אחד בפרו חיים יותר מינים של נמלים מאשר בכל ארה"ב וקנדה. בעץ יחיד במרכז אמריקה מצאו החוקרים יותר מינים של נמלים מאשר בכל רחבי בריטניה. ביער אחד במדינת גינאה שבמערב אפריקה, חיים כמחצית מיני היונקים המצויים ביבשת כולה. החוקרים איתרו עשרים וחמישה מקומות בעלי מגוון עשיר כזה ברחבי העולם. יוצא אפוא שכ-60% מהמגוון הביולוגי מרוכז בשטח של 1.4% בלבד מכדור הארץ. אי לכך נעשים כיום מאמצים מיוחדים לשמר את האזורים הללו. פרטים על כך אפשר למצוא באתר האינטרנט <http://www.conservation.org/xp/CIWEB/home>

מדוע חשוב לשמור על המגוון הביולוגי?

תשובות רבות לשאלה זו. מקצתן מתחום הפילוסופיה והדת, תשובות העוסקות בשאלת מקומו של האדם בעולם; מקצתן מתחום הכלכלה, תשובות המנסות להעריך את הערך הכלכלי של המגוון הביולוגי; מקצתן מתחום האקולוגיה והן מנסות להבהיר מהי החשיבות האקולוגית של המגוון; מקצתן מהתחום הרוחני-האסתטי ומנסות להסביר את חשיבות המגוון הביולוגי בהנאה הרוחנית וההשראה שאנשים רבים חשים בחיק הטבע.

כיום בולטת נטייה חזקה להצדקת שימור המגוון הביולוגי מטעמים כלכליים. עיקר ההתייחסות היא אל המגוון הגנטי. על פי גישה זו רואים בכלל היצורים החיים מאגר גנטי עצום. צמחים ובעלי-חיים מכילים גנים שיכולים להועיל לאדם. כיום, בעידן ההנדסה הגנטית, יש אפשרות להתערב בגנום של יצורים חיים, לשנות תכונות של צמחים ובעלי חיים המשמשים את האדם בחקלאות, בתעשייה וברפואה. ראוי לציין שתרופות רבות ברפואה המודרנית מקורן ביצורים חיים, בעיקר מצמחים ומיקרואורגניזמים. הפניצילין שהציל חיים של כל כך הרבה בני אדם, מקורו בפטרייה. תרופות חדשות נגד סרטן, כגון וינקריסטיין ווינבלסטיין הופקו מצמח הגדל באי מדגסקר. אין ספק שאנחנו מודעים רק לחלק זעיר מאפשרויות הריפוי הגלומות בקיומו של המגוון הביולוגי ואיננו מודעים לפוטנציאל הטמון במינים הנכחדים. סביר להניח שמסתתרים בתוכם גנים המקודדים לחלבונים בעלי פעילות ביולוגית שיכולים להועיל לאדם.

בחקלאות יש חשיבות מיוחדת למגוון הגנטי כאשר מדובר באספקת מזון סדירה לכלל האנושות. כשבעה מינים של צמחים מספקים כיום כ-80% מהמזון הצמחי של בני האדם. תירס, חיטה ואורז לבדם הם יותר ממחצית מכלל התנובה החקלאית העולמית המשמשת כמזון לאדם. ההשענות על מינים ספורים כל כך טומנת בחובה סכנה, במיוחד עקב הנוהג החקלאי לזרוע שדות שלמים בזן אחד ויחיד (מונוקולטורה). צורת חקלאות זו חשופה במיוחד למזיקים. ולכן הכלאה של מינים זוני בר מהטבע עם המינים הקיימים, חיונית כרשת ביטחון לאספקת מזון סדירה. במשך ההיסטוריה האנושית, ידוע על כ-7,000 מיני צמחים ששימשו לגידולים חקלאיים ומגוון הזנים ששימשו לחקלאות היה גדול במיוחד. בגידולי אורז מסורתיים בהודו למשל השתמשו בקרוב לשלושים אלף זנים שונים. למגוון כזה יש משמעות מרחיקת לכת לשמירה על ביטחון אספקת המזון העולמית. מקרים בעבר הוכיחו, שגידול המבוסס על מאגר גנטי מצומצם הוא פגיע במיוחד. כך הצליח המזיק פילוקסרה לחסל את מרבית הגפנים באירופה בתוך זמן קצר ורק העובדה שהמגוון הגנטי שעמד לרשות החוקרים היה עדיין רחב מספיק כדי למצוא זן עמיד מארה"ב, אפשרה הרכבה של הגפנים על שתילי הזן העמיד וכך ניצלה תעשיית היין. במצב שלנו כיום, אנו צורכים מספר זעום של גידולים חקלאיים עבור רוב סוגי המזון שלנו, כל גידול מתבסס על מאגר גנטי הומוגני של זרעים המסופקים על ידי מספר מצומצם של חברות ענק השולטות בשוק הזרעים העולמי, מזיק אחד, אם יפגע באחד מגידולי הבסיס, חיטה או אורז, עשוי להפיל את אספקת המזון הבסיסית. זו איננה אפשרות תאורטית גרידא. מגוון ביולוגי מאפשר גם התמודדות עם תנאי סביבה משתנים, התחממות כדור הארץ למשל, תהליך המתרחש כיום בקצב מואץ. כיצד נתמודד אם יתברר שדרושים לנו זנים המותאמים לאקלים חם יותר, אך הם נכחדו והגידולים הקיימים לא צולחים בתנאים החדשים?

מעבר לערך הכלכלי הטמון במגוון הביולוגי (מזון, תרופות, מוצרי עץ וכדומה) כפי שכבר ציינו, יש למגוון הביולוגי תרומה חשובה לקיומן של המערכות תומכות החיים של כדור הארץ, באמצעות מגוון של שירותי חיים שהוא מספק כגון, טיהור מים וטיהור אוויר, מיתון סחף ושטפונות, ייצוב חלקי של האקלים וכדומה.

אחת הדוגמות לניתוח הערך הכלכלי של שירותי החינם של הטבע הוא תהליך ההאבקה. 80% מהגידולים החקלאיים בעולם מואבקים על ידי מאביקי בר או בר למחצה. ערכם הכלכלי של שירותי ההאבקה שמספקות דבורי הדבש גבוה פי 60 עד 100 מערכו של הדבש שהן מייצרות. שירותי ההאבקה של דבורי הדבש לחקלאות בארה"ב מוערכים בכ-64 מיליארד דולר. אך מכיוון שבני-אנוש נוטים להוריד מערכם של דברים המצויים בשפע ובחינם הם מתעלמים מתרומתם של שירותי הטבע הללו. כיום מינים רבים של מאביקים עומדים נמצאים בסכנת הכחדה וברור שיהיו לכך השלכות כלכליות מרחיקות לכת. אך האם שיקולים כלכליים הם המפתח לשימור הטבע?

האם עלינו לשמר יער גשם רק בשל הערך הכלכלי של התרופות, ומיני המזון הפוטנציאלי המתחבאים בין ענפיו? האם עלינו לשמר את היער בגלל שהוא חלק מהמערכות תומכות החיים של כדור הארץ? ואולי התשובה נמצאת בערכי התרבות שלנו? באיזו קלות אנו מרשים לעצמנו להתעלם מכל היופי וההוד שבטבע? האם אכן אנחנו רוצים לחיות בעולם שכולו מלאכותי? מהן ההשלכות של מצב כזה על הרווחה הנפשית של בני האדם? אם היינו שואלים האם מותר או ראוי להרוס בבולדוזרים מוזיאון על כל יצירות האמנות שבו על מנת לבנות על שטחו בית חרושת שיספק מקומות עבודה רבים – השאלה הייתה נראית מופרכת לחלוטין – מי יעלה על דעתו רעיון שכזה? ובכל זאת, בכל יום ברחבי העולם כמעשה שבשגרה, נכרתים ונשרפים יערות גשם כדי להופכם לשדות מרעה ואתם נכחדות יצירות חד-פעמיות של הטבע – מינים שחולקים אתנו את העולם. האומנם אין מענה לצרכים של בני האדם בלי להכחיד את הטבע? האומנם תוכל האנושות להתקיים בלי רוב המינים השותפים לעולמה?

החיוניות של השמירה על המגוון הביולוגי אינה שנויה במחלוקת אך הרבה מהפעילויות שאנו נוהגים לכנות כפיתוח גורמות לפגיעה במגוון הביולוגי, לעתים קרובות בלתי הפיכה.

בשנות השמונים הגיעו להכרה ברורה שחייבים למצוא דרך לספק את הצרכים של בני האדם מבלי לפגוע בתהליכים תומכי החיים של כדור הארץ. לשם כך מונתה בשנת 1983 הנציבות העולמית של האו"ם לנושאי סביבה ופיתוח בראשות ראש ממשלת נורבגיה הגב' ברונטלנד כדי להציע אסטרטגיות לטווח ארוך ל"פיתוח בר-קיימא של כדור הארץ". בשנת 1987 פרסמה הוועדה את מסקנותיה בדוח הקרוי "עתידינו המשותף". המסר בדוח ברור: לא כל פיתוח אכן תורם לרווחה האנושית. בדרכים רבות של פיתוח רבה הפגיעה בטווח הארוך על היתרונות בטווח הקצר. החברה האנושית חייבת להבטיח את צרכי ההווה בלי לסכן את צורכיהם של הדורות הבאים. פיתוח בר-קיימא אינו מבחין בין פיתוח כלכלי, טיפול בבעיות סביבה וטיפול בבעיות חברתיות אלא רואה בכולן מקשה אחת. גם הטיפול בבעיית העוני בעולם הוא חלק בלתי נפרד מהטיפול בבעיות הסביבה.

בהמשך ליוזמה הזאת, וברוח אותם דברים התקיים בשנת 1992 בריו דה ז'נרו שבברזיל הכינוס העולמי הגדול ביותר שכונס אי פעם בנושא פיתוח בר-קיימא – "פסגת כדור הארץ". השתתפו בה נשיאים וראשי ממשלות מרוב מדינות העולם. בכינוס חתמו נציגי המדינות המשתתפות על אמנת ריו שכללה 27 עקרונות לפיתוח בר-קיימא של העולם. כמו כן נוסחה תכנית מקיפה שכונתה אג'נדה-21 – סדר יום עולמי למאה ה-21 – המתרגמת עקרונות אלו לתכנית פעולה מפורטת שתוביל לשינוי דגם הפיתוח העולמי לדגם פיתוח בר-קיימא. האג'נדה פותחת במילים הבאות:

האנושות ניצבת בפני רגע מכריע בהיסטוריה. אנו עומדים בפני מצב של הנצחת פערים בין אומות ובתוכן, החמרתם של עוני, רעב, בריאות לקויה ובערות, יחד עם הידרדרות מתמשכת של המערכות האקולוגיות שאנו תלויים בהן לרווחתנו. עם זאת שילוב בין דאגה לסביבה מחד ופיתוח מאידך, יביאו למילוי צרכים בסיסיים, לשיפור תנאי מחיה לכל, לקיום מערכות אקולוגיות מוגנות ומנוהלות טוב יותר ולעתיד בטוח ומשגשג יותר. אין אומה שביכולתה להשיג זאת בכוחות עצמה, אך יחד נוכל – בשותפות עולמית לפעול למען פיתוח בר-קיימא.

מתוך הכרה בחיוניות של שמירה על המגוון הביולוגי כחלק בלתי נפרד מן המאמץ להגיע לפיתוח בר-קיימא, נחתמה בפסגת ריו גם האמנה לשמירה על המגוון הביולוגי (ראו במסגרת). עד שנת 1999 הצטרפו עליה 175 מדינות. ישראל חתמה על האמנה עם רוב מדינות העולם כבר בשנת 1992 ואשררה אותה באוגוסט 1995.

חשוב לזכור שאין די באמנות. עלינו לדאוג לכך שהמילה הכתובה תהפוך למציאות בשטח. מדינת ישראל, בעלת מגוון ביולוגי עשיר במיוחד עקב מיקומה הייחודי בחיבור היבשות, נופה המגוון, ותנאי האקלים שלה, טרם השכילה להפוך את השיקול של בריאות המערכות האקולוגיות לחלק בלתי נפרד ממערכת קבלת ההחלטות של בינוי ופיתוח ועל כן מצער לציין שהמגוון הביולוגי נמצא בה עדיין בסכנה חמורה.

קיום המגוון הביולוגי מתוך אג'נדה-21 והצהרת ריו (פרק 15)²

המטרות והפעילויות בפרק זה מיועדות לשפר את השימור של המגוון הביולוגי ואת השימוש בר-הקיימא במשאבים הביולוגיים, וכן לתמוך באמנת המגוון הביולוגי.

הטובין (goods) והשירותים החיוניים לקיומו של האדם על פני כדור הארץ תלויים במגוון ובשונות של גנים, מינים, אוכלוסיות ומערכות אקולוגיות. משאבים ביולוגיים מספקים מזון, ביגוד, דיור, תרופות ומזון רוחני. מרבית המגוון הביולוגי של כדור הארץ נמצא במערכות אקולוגיות טבעיות של יערות, סוונות, שטחי מרעה, מדבריות, טונדרות, נחלים, אגמים וימים. מאגרים נוספים של מינים מצויים גם בשדות חקלאיים, במטעים ובגינות וכן בבנקי גנים, בגנים בוטניים ובגני חיות.

בחידושי הביוטכנולוגיה, המבוססים על החומר הגנטי של צמחים, של בעלי-חיים ושל מיקרו-אורגניזמים, טמון פוטנציאל עצום לחקלאות ולרפואה.

למרות מאמצים הולכים וגדלים, בעשרים השנים האחרונות (נכון ל-1992) נמשך אבדן המגוון הביולוגי העולמי, בעיקר בשל פעילויות אדם – כמו הרס בתי גידול, זיהום, ניצול-יתר של משאבי טבע, וכן העברה לא מבוקרת של מיני יצורים חיים זרים ופולשניים. יש במצב זה משום איום חמור על ההתפתחות האנושית.

הצעות באג'נדה-21 לשמירת המגוון הביולוגי קוראות לממשלות לזרז את ביצוע אמנת האו"ם למגוון ביולוגי; לאמץ שיטות מסורתיות וידע של עמים ילידים וקהילותיהם; לחלק בהגינות ובשוויוניות את התועלות הנובעות מהמגוון הביולוגי ומהשימוש במקורותיו הביולוגיים והגנטיים, כולל ביוטכנולוגיה, בין ארצות המוצא של המשאבים לבין המשתמשים בהם; ולפתח אסטרטגיה לאומית לשימור המגוון הביולוגי, לשימוש בר-קיימא במשאבים ביולוגיים ולהעברה בטוחה של ביוטכנולוגיה, בעיקר למדינות מתפתחות.

< דרושה עריכת סקרים לאומיים כדי להרכיב רשימת מצאי של המשאבים הביולוגיים, כדי לשפר את ההבנה המדעית והכלכלית בדבר חשיבותו של המגוון הביולוגי ותפקודיו וכדי להציע סדרי עדיפויות לפעולה. כמו כן, צריך להעריך את ההשלכות הכלכליות והחברתיות ואת התועלות של הגנת המגוון הביולוגי. המידע שיתבסס על סקרים לאומיים שוטפים יתעדכן מעת לעת וידווח ברשת מידע ותקשורת עולמית.

< תסקירי השפעה על הסביבה ייערכו בשביל פרויקטים של פיתוח הצפויים להשפיע על המגוון הביולוגי.
< יש צורך להשתמש בתמריצים כלכליים כדי לעודד שמירה על המגוון הביולוגי ושימוש בר-קיימא במשאבים ביולוגיים.

< על שמירת המגוון הביולוגי להיעשות על-ידי שימור מערכות אקולוגיות ובתי גידול טבעיים בבית הגידול המקורי (in situ) ובאמצעי שימור מחוץ לבית הגידול המקורי (ex situ), עדיף במדינה שבה מצוי אותו מין.

< חשוב ביותר לקדם שיקום של מערכות אקולוגיות פגועות ומינים בסכנת הכחדה; צריך לעודד אורח חיים בר-קיימא בשטחים סמוכים לשטחים מוגנים.

< יזוהו ויאותרו שיטות מסורתיות וידע מקומי רלוונטי לשימור המגוון הביולוגי ולשימוש במשאביו ותובטח השתתפותן של קהילות מקומיות בכלל, ושל נשים בפרט, בתועלות הכלכליות והמסחריות הנובעות מהשימוש בשיטות המסורתיות ובידע המקומי.

< יש צורך בקידום שיתוף פעולה טכני ומדעי ובמתן תשומת לב מיוחדת להעברת טכנולוגיה, לתכניות הכשרה מקצועית וכן לפיתוח מחקר וכלי ממשק כעשביות, מוזיאונים, בנקי גנים ומעבדות.

כדאי לדעת: יום המגוון הביולוגי הבין לאומי מתקיים כל שנה ב-22 במאי.

² אחירון-פרומקין תמר, פרומקין רון (עורכים), 2002
אג'נדה-21 והצהרת ריו – רקע, תקציר והיבטים ישראליים, המשרד לאיכות הסביבה.

"מנוע הצריכה והפיתוח"¹ יאיר הראל

פיתוח בר-קיימא

התפתחותה של החברה האנושית נשענת על משאבי הטבע של כדור הארץ. ניצול המשאבים נובע הן מהכורח לספק צורכי קיום בסיסיים הן מהצורך לספק ערכי תרבות. הידלדלותם של משאבי הטבע עקב ניצול יתר וזיהום הביאה אותנו למצב שלא נוכל להמשיך בו לאורך זמן. מתוך ההכרה הזו עלה המושג "פיתוח בר-קיימא".

על פי הגדרתו, פיתוח בר-קיימא הוא "פיתוח העונה על צורכי ההווה בלי לסכן את היכולת הדורות הבאים לספק את צורכיהם".

הגדרה זו פתוחה למדי ויכולה לשקף נקודות מבט שונות ומגוונות. פעילי סביבה, למשל, יראו בה דרך להפנות את תשומת הלב לערכי טבע ולשמור עליהם; פעילים מהעולם השלישי ייצקו בה תכנים של שוויון ויראו בה קריאה לחלוקה צודקת יותר של משאבי כדור הארץ; כלכלנים יקשרו את המושג הזה לצמיחה כלכלית וכו'. כך או כך, הכוונה ב"פיתוח בר-קיימא" למדיניות של תכנון מושכל ואימוץ דרכי פיתוח חדשות המושתתות על שלושה יסודות: שמירה על הסביבה, קדמה כלכלית ושוויון חברתי. אימוץ גישה המשלבת יסודות אלה יכול להבטיח שינוי חיובי של ממש במצב. אי אפשר לסמוך על פתרונות טכניים והנדסיים בלבד לבעיות הסביבה. אי אפשר לסמוך גם על אינטרסים כלכליים ועל כוחות של שוק חופשי שיביאו לשינוי מאליהם. כדי ליצור את השינוי יש לתכנן אותו ולהתוות את כיוונו. יש להחדיר את ערכי הסביבה לתודעת הציבור ולתודעתם של מקבלי ההחלטות, ומן הראוי לעודד אותו בתמריצים כלכליים ארוכי טווח. תמריצים כאלה יכולים להיות, לדוגמה הענקה של סובסידיות לפיתוח טכנולוגיות ירוקות ולאחזקת שטחים פתוחים ירוקים, ובדרך זו מניעה של ניצולם לבנייה; תמחור וגביית עלותם הריאלית של משאבי מים, קרקע ודלק, על פי העיקרון "המזהם משלם". יישום עיקרון זה עשוי להביא, לדוגמה להעלאת מחיר הדלק ועשוי לעודד את הציבור להשתמש בתחבורה ציבורית; הטלת קנסות כבדים על גורמים מזהמים (מפעלים, מוסדות ואנשים פרטיים) על פי העיקרון "המזהם משלם".

לניהול ופיתוח על פי עקרונות סביבתיים יש גם יתרונות כלכליים, כמו למשל: (א) סביבה בריאה ונעימה משפיעה על כושר העבודה ועל המוטיבציה של העובדים; (ב) טיפול בדיעבד בזיהום של מים, קרקע ואוויר יקר בהרבה מתכנון מראש של אמצעים למניעתו. בדומה לכך, הטיפול בפסולת בלתי מתפרקת יקר מתכנון מוצרים המתכלים באופן טבעי; (ג) פיתוח תעשייתי של מוצרים ירוקים והחדרתם לשוק עשויים לביא להגברת הדרישה להם ולהעלאת ערכם הכלכלי. לדוגמה: מוצרים ללא אריזות יקרות ובעלות נפח, מוצרים נטולי חומרים מלאכותיים ורעלים וכו'.

פיתוח בר-קיימא הוא תפישה שלמה של איכות חיים. מימוש תפישה זו צריך להתבסס על מחויבות פוליטית ארוכת טווח של מתכנני מדיניות. עליהם להתחייב: (א) לנקוט אמצעי זהירות מקדימים כדי למנוע נזקי סביבה; (ב) לנצל ניצול יעיל של חומרי גלם ולעודד היסכון באמצעות מיחזור חומרים; (ג) לשמור על זכויות הציבור לנכסים סביבתיים כמו חוף הים, "ריאות ירוקות" וכו'; (ד) לצמצם מפגעים סביבתיים ולבנות תשתית לטיפול בהם; (ה) לעמוד לביקורת הציבור ולחשוף את כל העובדות בפניו; (ו) לגייס אמצעי מדע וטכנולוגיה כדי להתמודד עם בעיות הסביבה.

מחויבות של מתכנני מדיניות תלויה בדיון הציבורי על ערכינו ועל תפישתנו החדשה את מקומנו במציאות החיים המודרניים. תפישה זו אינה יכולה להצטמצם רק לערכים של איכות הסביבה, או לתוצאות הכלכליות של פעולותינו. **תפישה חדשה חייבת לכלול גם את החזון שלנו לחיים טובים יותר, חיינו כחלק מן הסביבה,** ואת הדרך להנחיל חזון זה גם לדורות הבאים.

"מידע ומודעות – חובה וזכות"

עובדות ונתונים יכולים להעלות אבק בהיעדר יד שתוציא אותם מהמגרה ו"תאווור" אותם. זכות הציבור למידע (של עובדות ונתונים) מעוגנת בחוקים של כל חברה מתוקנת. אך גם הזכות הזו עלולה להיגזז בספרי החוקים ללא עין ציבורית שתחשוף אותה ותשתמש בה.

כאשר עובדות ונתונים "בוערים" מול עינינו, בסביבת החיים שלנו, "הזכות למידע" הופכת לחובה: **החובה לדעת!** הכוח שיכול להפיח משמעות בזכות-חובה הזאת הוא כוח המודעות. המודעות היא תנאי למעורבות, תנאי לשינוי. גם אלה בינינו המנהיגים את הפעילות הסביבתית אינם יכולים לפעול בתוך קהילה שאינה מכירה את דמותה.

¹ מתוך חוברת "סביבת חיים: פיקדון לדורות" – המשרד לאיכות הסביבה, כתיבה ועריכה: יאיר הראל

ידע ומעורבות: חינוך – החולייה המחברת

הבסיס לכל פעולה סביבתית הוא ידע: ידיעת העובדות והקשרן המדעי. אג'נדה 21 (שנוסחה בוועידה העולמית לאיכות הסביבה בריו דה ז'ניירו) דנה, בין השאר, גם בידע המדעי והטכנולוגי. האג'נדה ממליצה לשכלל כלים לתצפית ולאיתור של משאבי טבע וכלים לחיזוי מדעי של אסונות טבע. האג'נדה מעודדת חילופי ידע חופשיים משיקולי מסחר, מזכויות יוצרים וכד', שיקדמו את הטיפול בנושאים סביבתיים. אג'נדה 21 מציעה כמה עקרונות הנוגעים לשימוש במידע, כמו: פיתוח מאגרי נתונים של משאבי הסביבה ושל אמצעי פיתוח, פיתוח מנגנונים להעברה יעילה של נתונים ועוד.

עם זאת, תנאי הכרחי לשימוש נרחב ויעיל בידע הקיים הוא מדעות סביבתית בקרב הציבור. משום כך לחינוך למודעות יש תפקיד מכריע בקביעת דמותה ואיכותה של סביבת האדם. כשם שכוח הצריכה של היחיד ושל הקהילה מניע את הפגיעה בסביבה, כך החינוך למודעות יניע את שיקומה ואת עיצובה מחדש. האג'נדה ממליצה לעודד קבוצות חברתיות מוגדרות וארגונים לא ממשלתיים (רשויות מקומיות, איגודי עובדים ועוד), להיות שותפים בפיתוח בר קיימא ולרתום את פעילותם לשיפור פני הקהילה שהם חיים בה. האג'נדה קוראת לעודד בייחוד את מעורבותם של בני נוער ולתמוך ביזמות של צעירים לארגון מפעלים חברתיים בשכונות מגוריהם. בדרך זו אפשר להעלות את תחושת הערך העצמי של בני הנוער ואת אמונתם בכוחם לעצב את עולמם.

כיצד אפשר להקטין את הנזק לסביבה מפסולת?**"הטיפול המשולב"**

במדיניות מפותחות מקובלת מדיניות כוללת לטיפול בפסולת – זהו **הטיפול המשולב**. מדיניות זו, כוללת חמש שיטות שונות: הפחתה במקור, שימוש חוזר, מיחזור, ניצול פסולת לצורך הפקת אנרגיה והטמנה.

הפחתה במקור היא כל פעולה הגורמת להפחתת פסולת, הן בתהליכי עיצוב המוצרים וייצורם והן ברכישה ובשימוש בהם. דוגמות:

- < קניית מוצרים ללא אריזה מיותרת (אריזה בתוך אריזה... בתוך אריזה).
- < קניית אריזות ענק חסכוניות ושקיות מילוי.
- < הפחתת השימוש בשקיות חד-פעמיות המחולקות בחנויות וברשתות השיווק.
- < שימוש בסל קניות רב-פעמי.
- < קנייה של מוצרים בתפזורת והעדפתם על פני מוצרים באריזות.
- < תכנון רכישת כמויות על פי הצורך – למניעת בזבז והשלכה לפח.
- < הגברת השימוש בדוא"ל – לחיסכון בנייר.
- < צילום והדפסה דו צדדיים ושימוש בצידו השני של נייר מודפס – כטיטה.

שימוש חוזר חוסך את ייצורם מחדש של מוצרים שונים, כלומר חוסך חומרי גלם ואנרגיה ומפחית את כמות האשפה המצטברת. בישראל נהוג השימוש החוזר בכמה תחומי צריכה: בקבוקי בירה, בקבוקי מים מינרליים במתקני שתייה, אריזות קרטון ופלסטיק לאספקת תוצרת חקלאית ומוצרי מזון לחנויות, משטחי עץ להטענה, צמיגים העוברים חידוש וחוזרים לשוק, מחסניות דיו וטונרים של מדפסות.

המיחזור הוא תהליך הוצאתם של חומרים מתוך מוצרים שהושלכו לאשפה ושימוש בהם כחומרי גלם לייצור מוצרים חדשים. חומרים הניתנים למיחזור: נייר לסוגיו השונים וקרטון, פלסטיק, צמיגים, מתכות – ברזל, אלומיניום פלדה, נחושת, זכוכית, אפר פחם, כימיקלים ושמינים מסוימים כמו שמן בישול ושמן מכונות, טקסטיל, סוללות (לא בישראל) ומצברים, חומר אורגני – אשפה ביתית הכוללת שאריות מזון מהחי ומהצומח – לצורך יצירת דשן טבעי (קומפוסט), גזם ועץ, פסולת אלקטרוניקה.

ניצול פסולת לאנרגיה היא דרך לניצול המרכיבים האורגניים בפסולת לצורך הפקת אנרגיה. קיימות כמה שיטות להפקת אנרגיה מפסולת, כגון: שרפה, תסיסה אנ-אירובית, לכידת הגז הנפלט ממנה ועוד.

הטמנה היא המוצא האחרון. מטרתו של הטיפול המשולב בפסולת היא להפחית עד כמה שניתן את כמויות הפסולת שמגיעות לאתרי ההטמנה כדי לצמצם את הנזקים הסביבתיים שנגרמים מריכוזי הפסולת.

הזיהום חוצה גבולות, וגם החוק אמנות בין-לאומיות

המדינות השוכנות לחופי הים התיכון התייחסו אליו במשך שנים ארוכות כבור סופג של פסולת. עם העלייה במודעות לנזקים הסביבתיים שנגרמים לסביבה הטבעית בשל פעילות האדם הוחל גם בניטור ובמעקב אחר תוצאותיה השונות של פעילות זו. הייאוש הראשוני שאחז את אנשי הסביבה לנוכח מצבו החמור של הים התיכון והתחושה שזהו "ים מת", התחלפו בהתגייסות לפעולת הצלה מתוך תקווה לעתיד טוב יותר. המפתח לשינוי נעוץ בהבנת **האחריות ההדדית** שיש לכל מדינות האזור על סביבת הים ותכנון דרכים **לשיתוף פעולה** ביניהן. לבד מפתרונות טכנולוגיים לבעיות ייחודיות היה דרוש שינוי קיצוני בהתנהגות של גורמים פרטיים וציבוריים בכל הנוגע לטיפול במקורות הימיים והיבשתיים של זיהום סביבת הים והחוף.

במספר ועידות חירום שכינסו מדינות הים התיכון לאורך השנים נוסחו אמנות שונות הנוגעות להיבטים שונים של בעיית הזיהום.

בשנת 1975 גובשה "תוכנית הפעולה לים התיכון" (Mediterranean Action Plan) שסימנה את תחילתו של תהליך חקיקה וניסוח עקרונות למלחמה בזיהום הים. בשנת 1976 נחתמה "אמנת ברצלונה" – האמנה להגנה על הים התיכון מפני זיהום". אמנה זו היא מסגרת משפטית הכוללת בתוכה פרטוקולים בתחומים שונים. בעקבות האמנה קיבל שיתוף הפעולה בין המדינות אופי מעשי שבא לידי ביטוי בתכנון וביצוע של מחקרים מדעיים ופיתוח פתרונות טכנולוגיים.

לצורך יישום של עקרונות השמירה על הסביבה גויס ארגון הספנות הבינלאומי ונתן חסות לכמה מישורי פעולה הקשורים בהובלה ימית של מטענים: מניעת זיהום תפעולי שמקורו בפריקה לים של מי שטיפת מכלי מטען במכליות דלק; מניעת תאונות ימיות בין מכליות ותאונות הנגרמות כתוצאה מעלייה על שרטוני חוף; הענקת פיצוי לנפגעי זיהום ים; מתן עזרה לגופים ומדינות לצורך פיתוח ויישום תכניות לטיפול בזיהום ים. האמנה העיקרית שבאמצעותה פועל ארגון הספנות הבינלאומי היא אמנת מרפול (MARPOL).

עשרים שנים יותר לאחר ניסוח "אמנת ברצלונה" התכנסה ועידת ברצלונה (1995) ובה הוחל בשלב השני של "תוכנית הפעולה לים התיכון". בשלב זה נוסחו עקרונות פעולה ברוח של "פיתוח בר-קיימא". במהלך השנים נוסחו ונחתמו אמנות נוספות הנוגעות לטיפול בהיבטים שונים של איכות הסביבה הימית והחופים. כמה דוגמות: פרטוקול אזורים מוגנים במיוחד והמגוון הביולוגי, פרטוקול ניצול אדן היבשת, פרטוקול מעבר בין גבולות של פסולות מסוכנות וסילוקן.

בד בבד עם האמנות הבין לאומיות נכנסו לפעולה כמה יוזמות מקומיות במדינות השונות, אף הן נוגעות להיבטים ייחודיים של השמירה על סביבת הים. כמה דוגמות: המרכז לטכנולוגיות נקיות בברצלונה, ספרד – להקטנה במקור של רמות פסולת ומזהמים בתעשייה; המרכז לחישה מרחוק בפלרמו, סיציליה – שימוש בטכנולוגיות ייחודיות לאיתור מוקדי זיהום בים, ועוד.

תרבות צומחת מסלע יאיר הראל¹

אוצר טבע – התבונה האנושית

החיים בעולמנו תלויים בחומרי ובמשאביו של כדור הארץ. כל היצורים החיים מנצלים את חומרי כדור הארץ: המים, האוויר, המינרלים השונים ואת אנרגיית השמש, כדי לקיים את גופם, ובתוך כך תורמים לעיצוב פניו של כוכב הלכת הזה. האדם הוא היצור היחיד שלמד להשתמש בחומרים אלה בשיטתיות כדי לפתח ולקיים את החברה האנושית. יכולותיהם השכליות של בני האדם אפשרו להם לפתח טכנולוגיה ולהגביר באמצעותה את יכולותיהם הגופניות-הביולוגיות. בדרך זו הצליחו בני האדם להתמודד עם תנאי הקיום שעל פני כדור הארץ גם בסביבות שבהן שורר מזג אוויר קשה ובסביבות עניות בחומרי מזון. בתהליך מתמיד של מאבק בתנאי הקיום הצליחו בני האדם לשפר את האמצעים הטכנולוגיים ולהפיק ביעילות את המשאבים הטבעיים החיוניים לחייהם ולתרבותם.

"משאבים טבעיים" הם חומרי המזון, חומרי הבניין, לבוש, מינרלים, מים והאנרגיה שאנחנו מפיקים, שואבים ומוציאים מסלעיו של כדור הארץ. משאבים אחדים כגון מזון ומים הם "משאבים מתחדשים", כלומר משאבים הנוצרים מחדש באופן טבעי במחזוריות עונתית. אחרים כגון, פחם, נפט, מתכות, חומרי בניין הם "משאבים מתכלים", הגדרה הקשורה בהיבט המעשי של השימוש בהם, כלומר משאבים שקצב התחדשותם אטי הרבה יותר בהשוואה לסדרי הגודל של זמן החיים שלנו, או במילים אחרות: קצב צריכתם על ידי בני האדם עולה לעין שיעור על קצב התחדשותם הטבעית.

בעוד אוכלוסיית המין האנושי הולכת וגדלה, הולכת ומתפשטת על פני שטחו של כדור הארץ ומנצלת יותר ויותר את משאביו, עולות שאלות נוקבות לגבי עתידו של כוכב הלכת הזה: האם חומריו של כדור הארץ – המים והקרקות – יספיקו כדי לקיים את אוכלוסיית החיים בעולמנו ובעיקר את אוכלוסיית בני האדם המתרבה במהירות שאין לה תקדים? עד כמה יוכלו משאבי המזון להתחדש בלי שייפגעו פניו של כדור הארץ פגיעה בלתי הפיכה? האם החומרים שנותרו בסלעיו – המתכות, חומרי הבניין, חומרי האנרגיה ושאר החומרים "המתכלים" מספיקים כדי לקיים את צרכיה ההולכים וגדלים של חברה בני האדם ותרבותם?

נעשה ונשמע

אין אנחנו יכולים לדעת מה עבר במחשבותיהם של האנשים הקדמונים: האם שאלו עצמם שאלות על סיבותיו של הטבע, האם חקרו את מוצאם של חומרי הארץ? אך אנחנו יכולים, על פי הממצאים שהשאירו אחריהם, להעריך את התפתחותה של הטכנולוגיה שלהם. התפתחות זו קשורה בראש ובראשונה בהכרת תכונות ייחודיות של חומרים שונים. האנשים הנבונים הראשונים למדו לזהות את תכונותיהן של אבני הצור והזכוכית הוולקנית, הניתנות לשבירה בדרך מסוימת שהופכת אותן לכלי חד. אנחנו יכולים להניח שאותם אנשים שידעו לזהות חומרים, השכילו גם למצוא אותם במקומות מסוימים ולא באחרים. מדוע יש לחומרים מסוימים תכונות כאלו ולא אחרות, מדוע הם נפוצים במקומות מסוימים? ייתכן שהתשובה לשאלות אלה נובעת ממסגרות רגשיות ומחשבתיות של אמונה פרימיטיבית בישויות על-אנושיות, אלילים וגיבורים רבי עוצמה. אמונות כאלה באו לידי ביטוי במיתוסים של תרבויות שונות על פני כדור הארץ. לדוגמה, הצור המופיע בתרכיזי אבן דמויי עדשות נמשל לביצים שהוטלו על ידי רוחו של ההר המקומי. והנחושת (על פי מיתוס אינדיאני) היא נוזל אדמדם וסמיק שבו מילא תן השמימי שבעה בורות כדי ללכוד שבעה ענקים שנהגו לטרוף את ילדי השבט.

היוונים הקדמונים היו הראשונים שחיפשו הסברים הגיוניים לתופעות הטבע. תאלס (640 לפנה"ס), אבי הפילוסופיה היוונית, ראה במים את היסוד החשוב ביותר בעולמנו החומרי. המים, כך טען, הם החומר הראשוני על פני הארץ וממנו התפתחו כל שאר החומרים.

זנו (270-340 לפנה"ס) טען שהאש היא החומר הראשוני. מקובלת יותר הייתה התיאוריה של אמפדוקלס (432-493 לפנה"ס) שעל פיה חומרי כדור הארץ מקורם בארבעה יסודות ראשיים: אש, מים, אדמה ואוויר. יסודות אלה, בהרכבים שונים, יוצרים תרכובות שונות ומגוונות, והם המקור לחומרים המגוונים המוכרים לנו. אריסטו האמין אף הוא במרכזיותם של ארבעת היסודות הללו ופיתח תיאוריות אף לגבי תהליכים

¹ המאמר לקוח מתוך הערכה "עיין ערך מדע וטכנולוגיה", פרק ג', המרכז הארצי למדע אוניברסיטת תל-אביב. כל הזכויות שמורות למשרד החינוך.

שונים המתרחשים בבטן האדמה. שינויים על בסיס של אש יצרו את הסלעים ושינויים על בסיס של מים יצרו את המתכות.

עם שקיעתה של תרבות יוון ונפילת האימפריה הרומית, שקעו יסודות המדע שהניחו היוונים בחשכת ימי הביניים וההסברים ההגיוניים שנתנו נקברו בסיפורים אלכימיים ו"תיאוריות" דמיוניות/פנטסטיות. רק במאה ה-16 צצה מחדש דמותו של מדען בעל שיעור קומה, שבחן את חומרי כדור הארץ במסגרת של תצפיות שדה מדעיות. היה זה גיאורגיוס באואר שנודע בכינויו הספרותי גאורגיוס אגריקולה. בספר מפורט שכתב (בשנת 1556 לספירה) העלה אגריקולה לראשונה השערות לגבי היווצרותם של מרבצי מינרלים בתוך הסלע. אגריקולה סלל את הדרך להתפתחות החשיבה המדעית הגאולוגית. מאתיים שנים אחריו התרחש "קרב" מוחות בין שני ענקי רוח שבישרו את ראשיתה של הגאולוגיה המודרנית: אברהם גוטליב וורנר הגרמני וג'יימס האטון הסקוטי. וורנר טען שהסלעים והמינרלים נוצרו מתוך אוקיאנוס ראשוני שכיסה את פני כדור הארץ ובכך ייסד אסכולה שנקראה האסכולה הנפטוניסטית – על שמו של נפטון, אל הים. לעומתו טען האטון שהחומרים והסלעים נוצרו בתהליכי התקררות, התמצקות והתגבשות של סלעים מותכים בבטן האדמה. זאת הייתה האסכולה הפלוטוניסטית – על שמו של פלוטון, אל השאול. תיאוריות אלו נחקרו במשך השנים ועם הזמן הוכח "ניצחונן" של האטון בוויכוח זה. האטון זכה לכינוי "אבי הגאולוגיה המודרנית".

בתחילת המאה ה-20 בעקבות איסוף ממושך וקפדני של נתונים ושכלולם של כלי התצפית ושיטות המחקר המדעי, הלכו והתגבשו גם התיאוריות הקשורות לתהליכי היווצרותם של מינרלים וסלעים.

מקורות החומרים

כל החומרים הטבעיים (ורובם המכריע של החומרים המלאכותיים) בנויים מ-90 יסודות כימיים בקירוב הנפוצים על פני כדור הארץ. חלוקת היסודות על פני כדור הארץ ובתוכו אינה אחידה. מבין היסודות הטבעיים המרכיבים את קרום כדור הארץ, שמונה יסודות תופשים את עיקר המאסה שלו – כ-98%. החמצן מהווה כ-46% ממאסת הקרום ו-91% מנפחו. הצורן מהווה 27,5% ממאסת הקרום ו-0,83% מנפחו. יתר ששת היסודות הנפוצים ביותר הם: אלומיניום, ברזל, סידן, נתרן, אשלגן ומגנזיום. נפוצותם של היסודות בקרום כדור הארץ שונה מנפוצותם בתוכו. עיקר המאסה של כדור הארץ עשויה ברזל – 34,6% (לעומת 5% בקרום). רוב היסודות הכימיים בקרום כדור הארץ קשורים ביניהם בתרכובות כימיות טבעיות – המינרלים. המינרלים הם חומרים טבעיים, אנאורגניים ומוצקים, בעלי הרכב כימי מוגדר וסידור אטומים פנימי קבוע. באופן כימי מינרלים יכולים להיות מורכבים מיסוד אחד (כמו יהלום המורכב מפחמן) או ממספר יסודות. מינרלים אחדים מכילים גם עשרה יסודות כימיים ויותר.

מרבצים

משאבי טבע רבים המנוצלים בידי האדם מצויים במה שמוגדר "מרבצים". מרבץ הוא סלע המכיל חומר חיוני לאדם בריכוז גבוה דיו כדי שהפקתו תהיה כדאית מבחינה כלכלית. מידת הכדאיות תלויה, כמובן, במידת הביקוש לחומר המסוים, במידת שכיחותו בתוך סלעי כדור הארץ וגם במחירה של טכנולוגיית ההפקה של אותו חומר. מידת הביקוש משתנה לעתים מסיבות שונות ומגוונות, למשל: גילוי מרבץ גדול במיוחד של מתכת מסוימת (גידול בהיצע) מוריד את מחירה ואת כדאיות הפקתה. המצאת טכנולוגיה חדשה להפקת חומר מסוים מגבירה את מידת הביקוש ומעלה את מחירו ואת כדאיות הפקתו, כך שמשתלם לעתים להפיקו אפילו ממרבצים שבהם הריכוז שלו נמוך יותר.

חלוקה לא שוויונית

מעצם הגדרתו של "מרבץ" ברור שפיזורם של חומרי כדור הארץ בסלעים אינו אחיד. לדוגמה: יותר מ-80% ממרבצי הפלטינה בעולם מרוכזים בדרום אפריקה. היתר מרוכז רובו ברוסיה, בשאר העולם אין כמעט מרבצי פלטינה.

חלוקה לא שוויונית זו קיימת גם בחומרי אנרגיה: 60% מעתודות הנפט בעולם מרוכזים במזרח התיכון (סעודיה, כוויית, איראן, עירק ונסיכויות המפרץ).

מ"תקופת הציפורניים" לעידן הגרעין

כאמור, העדויות להתפתחות התרבות האנושית לפני המצאת הכתב הן חומריות בעיקרן – שרידים של כלים המעידים על התפתחות הטכנולוגיה במקומות שונים בעולם. היסטוריונים הגדירו ציוני דרך בהתפתחות המין האנושי על פי שימושיו בסוגים שונים של חומרים מכדור הארץ. כך נטבעו המושגים: "תקופת האבן", "תקופת הברונזה", "תקופת הברזל", "עידן המתכות" וכו'. החלוקה הזאת מיוחסת לכריסטיאן תומסון, מנהל מוזאון בדנמרק בן המאה ה-19, אך חלוקה דומה נמצאה גם בכתביהם של היסטוריונים קדומים, מערביים וסיניים. לוקרציוס (98-55 לפנה"ס) חילק את רצף ההיסטוריה האנושית לתקופות הבאות: תקופת הציפורניים והשיניים, תקופת האבן, תקופת העץ והאש, תקופת הנחושת, תקופת הברזל. היסטוריונים רבים סיווגו את התקופות המאוחרות יותר גם על פי חומרי האנרגיה ממקור מינרלי: מתקופת הפחם, הנפט ועד ימינו – עידן האטום או עידן הגרעין.

בראשית הייתה האבן

האדם החל להשתמש באבן כבר לפני יותר ממיליון שנים. עקבות השימוש באבן ניכרות בממצאים של אבנים שעוצבו וחודדו למטרות של ריסוק עצמות קשות וחיתוך. בתקופה זו, בין מיליון ל-25,000 שנים לפנה"ס, למד האדם לנצל סוגים שונים של אבנים ולהכשירן לצרכים שונים. לקראת סוף תקופת האבן העתיקה (הפליאוליטית) ותחילת תקופת האבן החדשה (הניאוליטית) למד האדם להכין כלי חימר וגילה את היתרון הגדול הטמון בשריפתם. נוסף על העדויות להתפתחות הטכנולוגיה של עיבוד חומרי הגלם לצרכים שונים נמצאו גם עדויות להתפתחות מסחר בחומרים גולמיים ומעובדים כגון, צור, ענבר, מלח, זהב ואבני טורקיז.

יסודות הבניין

בערך 6,000 שנים לפנה"ס, החלו להתפתח במזרח התיכון שתי תרבויות נהרות: במצרים ובמסופוטמיה (הסהר הפורה). שתי התרבויות בישרו את ראשיתה של החקלאות המאורגנת ואת ראשיתו של סדר פוליטי כלכלי המבוסס על שליטה במשאבי טבע מקומיים: מים וחומרי בנייה. המצרים השתמשו באבן שחצבו במחשוףי סלע לאורך הגילוס ופתחו את אַמנות הבנייה המפוארת שלהם. לעומתם באזור שבין הפרת והחידקל, בנוף המורכב מסחף נהרות, התפתחה תעשייה של לבני חומר וכלי קרמיקה.

מתכות "נוזלות" מהסלע

אולי הייתה זו גבירה מצרית ששמטה חתיכת "מלאכיט", אבן כחלחלה ששימשה אותה לאיפור, לתוך מחתת גחלים. ואולי התרחש הדבר כאשר מדורת ציידים אחזה בנפט טבעי והבעירה את הסלע. השערות וסיפורים רבים קשורים לדרך שבה התגלו המתכות הראשונות. מכל מקום אין ספק שאחת מפריצות הדרך הגדולות ביותר בהיסטוריה האנושית הייתה גילוי המתכות ופיתוח טכנולוגיות ההפקה והעיבוד שלהן. חוקרים משערים שתחילת עיבוד המתכות חלה בין 4,000-3,500 לפנה"ס. בזמן שאנשי הנהרות הגדולים פיתחו את תרבותם החקלאית התפתחה טכנולוגיית המתכת באזורים הרריים: בארמניה, בקווקז, ממערב לאיראן ובטורקיה – אזורים העשירים בעפרות מתכת. יתרונם של כלי המתכת על כל הכלים האחרים והיעדרן של עפרות מתכת באזורי הנהר אילץ את אנשי מסופוטמיה ואנשי מצרים לקיים סחר חליפין עם יושבי ההרים – מתכות תמורת מזון.

הממלכה המאוחדת של מצרים הוקמה בערך ב-3,400 לפנה"ס. הכוח הפוליטי שרוכז בידיהם של הפרעונים אפשר להם להקצות משאבים אנושיים לפיתוח תעשיית האבן ותעשיית מתכת. המחסור המקומי בעפרות מתכת דחף את הפרעונים לצאת למסעות כיבוש כדי להבטיח שליטה במשאבי מינרלים ואת אספקתם הסדירה. כך הגיעו הפרעונים לחצי האי סיני והקימו מכרות של אבני טורקיז ונחושת, וכך הגיעו גם אל אוצרות הנחושת של קפריסין (מקורה של המילה קפריסין הוא "קיפירום" = נחושת), ואל מרבצי הזהב בנוביה (דרום סודן של ימינו). השליטה במשאבי טבע הייתה חלק ממקור כוחם של השליטים והייתה מעוגנת בחוקי מדינה ברורים ונוקשים. מחיר ההפקה של מתכות לא עלה למעשה על מחיר האכלתם של אלפי העבדים שכילו את כוחם ואת חייהם בעבודת פרך בתנאים נוראיים.

גילוי מינים שונים של סגסוגות (תערובות) מתכת התרחש אף הוא בדרך מקרה בשל הופעתם של מרבצי הנחושת בסמיכות למרבצי הבדיל והאבץ. סגסוגות הברונזה (נחושת עם בדיל) והפליז (נחושת עם אבץ) גילו תכונות חוזק ועמידות גבוהה יותר מנחושת טהורה.

עיבוד הברזל החל מאוחר יותר. בשל טמפרטורת ההתכה הגבוהה יותר של הברזל (1,500 מעלות צלסיוס) חייבה הפקתו פיתוח של אמצעים ושיטות עיבוד משוכללות יותר – בניית תנורים חסיני אש ומפוחים לליבוי חום הבערה. בימיו הראשונים היה ברזל יקר אפילו יותר מזהב.

יוון: כסף שווה כסף

הצורך ביבוא חומרים הביא להתפתחותם של אמצעי הובלה ונתיבי סחר ביבשה ובים וזה הרקע להתפתחות התרבות הפיניקית שהתפשטה מחופי לבנון בכל אגן הים התיכון. הפיניקים יצרו שווקים חדשים לחומרי הגלם כאשר הם חוקרים ומחפשים מרבצים ואתרי הפקה חדשים חיפוש בלתי נלאה. הם מצאו כסף בהרי הפונטוס ובסרדיניה והגיעו בחיפושיהם גם לספרד הרחוקה. הם מצאו בדיל בטורקיסטן, בספרד ובאיים הבריטיים. הם הפיקו עופרת בהרי הטאורוס ובגליה. ייצרו ברזל בקפדוקיה ובארמניה, זהב בפריגיה ובנוביה וענבר באזור הים הבלטי.

הפיניקים גם פתחו את מכרה הכסף בלאוריום שביוון, לא הרחק מהעיר אתונה. לימים הפך מכרה זה למקור כוחה של אתונה ומילא תפקיד חשוב ביותר בהיסטוריה היוונית. אוצרות הכסף של לאוריום ספקו את הבסיס הכלכלי לבניית צי האניות של אתונה בימיו של תמיסתוקלס, שליט יוון. בסופו של דבר, הצי היווני הוא שהכריע את המערכה הארוכה והמתשה כנגד הפרסים והוא שמנע את פלישתם ליוון ולאירופה כולה.

האימפריה הרומית: מטבעות הכוח

חותמם הבולט ביותר של הרומאים על התרבות החומרית של העולם העתיק בא לביטוי באמנות הבנייה. תעשיית הבנייה התבססה על שפע רב ומגוון רחב של חומרי גלם: אבני גיר, בזלת, שיש, אבן חול, סרפנטיין וטרוורטין. חומרים אלה נכרו במקומות שונים ברחבי האימפריה והובלו למרחקים גדולים בדרך הים והיבשה. בתוך כך התפתחה לראשונה תעשיית המלט לבניין. אפר וולקני מעורבב בסיד יצר תערובת שהתמצקה במגע עם מים. המלט שהתקשה, היה עמיד במים ואפשר בניית גשרים גדולים על פני נהרות ומבנים לחופי הים. הרומאים, כמו כל האימפריות לפנייהם, הבינו את חשיבותם של חומרי הגלם ובעיקר המתכות. הם השתלטו על אוצרות הטבע בכל מקום שאליו הגיעו. מאוחר יותר החלו לחפש בעצמם אתרים חדשים ופתחו מכרות וטכנו-לוגיות הפקה משוכללות. מיוון הם הביאו זהב וכסף, מספרד – זהב, כסף, נחושת ובדיל ומבריטניה – עופרת. את הברזל, שבעזרתו בנו את צבאם המפואר הביאו מגליה וממרכז אירופה. הרומאים הגו וביססו מערכת חקיקה הנוגעת לבעלות ולאחזקה של אוצרות המינרלים. חוקי האימפריה חלו על כל מכרות המתכת ברחבי האימפריה. על פיהם נקבעה בעלות המדינה על כל מה שמעל ומתחת לפני הקרקע.

חוקים אלה נקבעו כבר בימיה הראשונים של העיר רומא ונגעו לאוצרות הטבע המקומיים שלה: החרסית, האבן לבנייה, הסיד והמלח. (המילה Salary מקורה במילה מלח, שכן שכרו של חייל רומי נקבע על פי כמות המלח שהספיקה לצרכיו). בכל רחבי האימפריה ניתנו זכויות ההפקה של מינרלים בידיהם של חברות ואזרחים רומיים ואלה חויבו לשלם מס למדינה. אולם מערכת החקיקה הזאת נגעה אך ורק למכרות קיימים ולא התירה פתיחתם של מכרות חדשים. מקורה של חקיקה בלתי מעודדת זו נבע אולי משיקולים סביבתיים בימיה הראשונים של העיר רומא. סביב העיר גרמו המכרות נזקים חמורים ליערות שנכרתו לצורך הפקת חומרי בערה. המכרות גם זיהמו את הנהרות והנחלים. ייתכן שחקיקה זו נועדה למנוע גם את הקמתם של מחנות עבדים-כורים בסמיכות לעיר.

הרומאים ביססו את שליטתם הכלכלית באמצעות מערכת מוניטרית שהנפיקה מטבעות כסף וזהב. בשל כך קיבלו מתכות אלו משנה חשיבות, הרבה מעבר לשימושיהן המסורתיות בתעשיית התכשיטים. אחד הגורמים שהשפיעו השפעה ניכרת על שקיעתה ונפילתה של האימפריה הרומית היה קריסתו של מאזן התשלומים ואבדן "נזילות" עקב רכישות של מוצרי מותרות שונים בחלקים המרוחקים של האימפריה – הודו וערב. החשבונות עבור יבוא של משי, אבני חן וכיוצא באלה הביאו בסופו של דבר להידלדלות ערכו של המטבע הרומי.

התפוררות זמנית של יסודות

שקיעתה של האימפריה הרומית בישרה גם את דעיכתה של אש היוזמה והיצירה שהניעה את העולם המערבי. התפוררותן של מערכות השליטה והסדר הרומיות והסרתן של מגן צבאה הביא לקריסתן של מערכות ההפקה של חומרי הגלם ושל מערכות ההובלה והסחר במוצרים שונים. תנופת הבנייה הרומית

נבלמה והביקוש לחומרי בנייה הצטמצם. את מקומה של המערכת הכלכלית והמוניטרית של האימפריה לא תפשה שום מערכת אחרת, ובחלל שנוצר קטנה גם הדרישה למתכות המטבעות. מכרות ומחצבות נסגרו ועובדיהם חזרו לעבודה חקלאית כדי לייצר מזון הדרוש לקיומם. חשוב ליישם את הלקח ההיסטורי מנפילתה של האימפריה הרומית וחשכת ימי הביניים שבאה בעקבותיה בכל הנוגע להפקת חומרי גלם גם בימינו. ההיסטוריה מוכיחה שנדרש שלטון יציב המסוגל לממן השקעות גדולות בכרייה ובהפקה לאורך זמן ובאופן ריכוזי.

לאורך תקופת השפל שבאה לאחר תקופת הרומאים השתמשו האנשים במתכות שנשארו מתקופת הזוהר, בחומרי בניין – לבנים ואבני גזית – שפורקו ממבנים קיימים ונשדדו. המבנה החברתי של אחוזות המנוהלות על ידי בעלי קרקעות ונשענות על עבודת צמיתים, לא עודד שום פיתוח תעשייתי. כתוצאה מכך הידלדלו משאבי המתכת באירופה. למשל, עד לתחילת הרנסנס, כל מלאי הזהב של אירופה לא עלה על כמות הפקה של שנה אחת בימי הזוהר של הרומאים. עם זאת, במעט המכרות שפעלו בכל זאת, הונחו כמה יסודות חברתיים חדשים. בהיעדר כוח שלטוני מרכזי, התפתח מאבק בין כורים לבעלי קרקעות על בעלות וזכויות כרייה. מאבק זה היה ערש לידתם של רעיונות חברתיים חדשניים. בכמה מקומות זכו הכורים בזכויות מעמדיות: שחרור והגנה משירות צבאי ועבודות כפייה, זכות לכרות עצים ולהפיק פחם לאנרגיה וכן זכות להירשם כבעלי מקצוע ולנוע בחופשיות ברחבי המדינה. בגרמניה קיבלו הכורים זכות לחפש אתרים חדשים ולטעון לבעלות על תגליותיהם. בבריטניה נתנה לכורים החופשיים זכות לכרות ולהפיק חומרים תמורת תשלום לבעלי הקרקעות, למעט הזכות לכרות כסף וזהב – זו נותרה נחלתו הבלעדית של הכתר.

פריחה מחודשת של הרוח ושל שורשיה החומריים

תקופת הרנסנס שהחיתה מחדש את האמנות, המדע והפילוסופיה הפיחה גם רוח חיים במסחר, בבנייה ובתעשייה. כפועל יוצא החל גם חיפוש מחודש אחרי חומרי גלם כדי לספק את הדרישות החומריות שנבעו מתחייה זו.

אחד הביטויים הפוריים של אותה פריחה תרבותית הייתה פריחתם של המדע והטכנולוגיה. אלה הביאו לתפישות החדשות בכל הנוגע להיווצרות סלעים ומינרלים בכדור הארץ ולפיתוח שיטות משוכללות לאיתור מרבצים כלכליים.

רוב אתרי המכרות באירופה היו ידועים כבר מימי הרומאים. כרייה מחודשת והפקה מוגברת באתרים אלה התאפשרה עם המצאת חומרי הנפץ ועם המעבר לשימוש באנרגיה של פחם. המדינות ששפר עליהן מזלן ובשטחן נכללו הן מרבצי ברזל והן מרבצי פחם, הפכו למדינות התעשייתיות הראשונות. היו אלו אנגליה, גרמניה, צרפת ומאוחר יותר גם ארצות הברית של אמריקה.

התפתחותה של התעשייה הביאה להתפתחותו של סחר בין לאומי, לחיזוק הכלכלה וכפועל יוצא גם לעלייה בגודל האוכלוסייה. כך בישרו למעשה טכנולוגיות ההפקה של פלדה וניצול הפחם לאנרגיה, שעמדו בתשתיתה של התעשייה, את תחילתה של המהפכה התעשייתית. מהפכה זו החלה באנגליה והתבססה גם בגרמניה – שתי מדינות שנהנו מגישה ישירה לאוצרות ברזל ופחם כאחד.

אולי כמשקל נגד לסיפור התעצמותן של אנגליה וגרמניה אפשר להביא את סיפורן של שתי מעצמות אחרות באותם ימים: ספרד ופורטוגל. אחרי גילוייה של אמריקה היה עיקר עניינה של ספרד לנצל את אוצרות הזהב של הטריטוריות החדשות שלה – זהב האצטקים ממקסיקו וזהב האינקה מדרום אמריקה. המשלחות הספרדיות העלו את שללן השודד אל המלך היושב בספרד ולא טרחו להשקיע כל מאמץ בחיפוש אתרי מכרות חדשים. היריבות בין שתי המעצמות הימיות ספרד ופורטוגל הביאה להתערבותו של הכס הקדוש ברומא. השליטה על "שדות השלל" החדשים חולקה על ידי הכנסייה הקתולית כך שפורטוגל זכתה ביבשת דרום אמריקה – ברזיל, וספרד קיבלה את כל האזור הצפוני.

עושרה המידי של ספרד עורר את תאבונן של מדינות אחרות. האוצר האנגלי "זכה" לנגוס נגיסה רצינית מהזהב הספרדי באמצעותם של שודדי ים אגדיים – יקיריה של המלוכה הבריטית. כספי השוד הללו עזרו למלכה ויקטוריה לבנות את הצי המפואר שהביס... את מקור עושרה של ספרד – הצי הספרדי, בשנת 1588. תבוסת הארמדה הספרדית בישרה את תחילת דעיכתה של האימפריה הספרדית.

הכורים שלפני המחנה

במאה ה-19 ברוב חלקי העולם, תרמה התפתחות השיטות להפקת המינרלים להתפתחותן של אימפריות באמצעות בניית כוח כלכלי וצבאי. באותן שנים הפכו מגלי המרבצים המינרליים לחלוצי ההתיישבות באזורים חדשים. שיעור הפקת המינרלים במהלך המאה ה-19 וה-20 גדל באורח מעריכי. עם הגברת הכרייה, השתכללו גם השיטות הטכנולוגיות להפקה ועיבוד של מתכות. כמה אירועים הקשורים בגילוי מרבצים חדשים השפיעו על מהלך ההיסטוריה בתקופה המודרנית. גילוי הזהב בקליפורניה, גילוי הזהב ואוצרות אחרים באוסטרליה שינה את מסלול התפתחותן של מדינות אלו. גילוי יהלומים ואחר כך זהב בדרום אפריקה הביא להתעניינות מוגברת של אירופה ב"יבשת השחורה" ולהרמת המסך מעל המסתורין הרומנטי שאפף אותה. ראוי לציין בהקשר זה את מקומו בהיסטוריה של סטודנט צעיר והרפתקן בשם ססיל ג'ון רודס. איש זה השתלט על כריית היהלומים בדרום אפריקה ופתח את הדלת לכניסתה של אנגליה לאפריקה. אינטרסים ותמרונים כלכליים רחבי היקף הביאו להתבססות שלטונה של אנגליה מכף התקווה הטובה ועד מעבר לנהר הזמבזי – עם הקמתה של מדינת רודזיה (על שמו של מייסדה) לימים זימבבואה.

דלק מניע גלגלים

גילוי של הנפט כמקור אנרגיה תרם באופן מכריע לתנופת הפיתוח של המאה ה-20 ולשינוי פניו של העולם. תהליך התבססותו של הנפט כתחליף לפחם היה מהיר ביותר. אל קידוח הנפט הראשון בארצות הברית, שבוצע על ידי "קולונל" דרייק בשנת 1859, התווספו בתוך שנה אחת עוד 175 קידוחים. בתוך מאה שנים הגיע מניינם של קידוחי הנפט, רק בארצות הברית ליותר ממיליון וחצי! החשש מהידלדלותם של מקורות הנפט עקב דרישות הפיתוח המואץ של סוף המאה ה-20 הביא לחיפוש של מקורות אנרגיה אחרים. בתוך כך פותחה אנרגיית האטום המבוססת על תהליך ביקוע אטומי של איזוטופים רדיו-אקטיביים "כבדים" ושחרור האנרגיה שמתלווה אליו בהיווצרותם של אטומים קלים יותר. כחומר הגלם העיקרי לאנרגיה האטומית משמש האורניום. בשל השימוש הצבאי של האנרגיה האטומית הפכה כריית האורניום ליעד אסטרטגי של מעצמות העל.

מינרלים, כרייה וסביבה

בנוסף לעושר שהנחיל להם מכרה הכסף, התוודעו תושבי אתונה העתיקה גם לנזק הסביבתי שנגרם בעטיו לאורך השנים. במהלך כריית הכסף והפקתו נכרתו כל העצים בסביבת המכרה ויערות האזור הושמדו כליל. גורל דומה פקד גם את יערותיה של בריטניה והביא, כבר באמצע המאה ה-19 לחקיקה שהגנה על העצים ברחבי הממלכה. באופן עקיף הביאה חקיקה זו לניסיונות הראשונים לשתול מחדש יערות ובאופן אירוני גם להגברת הכרייה והשימוש בפחם.

הנזקים הישירים והעקיפים לסביבה הנובעים מכריית משאבי הטבע והפקת חומרי הגלם הם בחלקם פיזיים ובחלקם כימיים.

נזקים פיזיים ודרכי הטיפול בהם:

- < פגיעה בנוף
 - < חיסול יערות ועקב כך דלדול בקרקעות כתוצאה מתהליכי סחיפה מוגברים
 - < היווצרות ערמות פסולת עפר
 - < חדירה של חלקיקים רעילים אל מקורות המים. חלקיקים עתירי מינרלים אלה נוצרים מריסוק סלעי הבצר ומחומרים כימיים שונים המשתחררים במהלך הכרייה
 - < הוצאת מסה גדולה של סלע מתחת לפני השטח גורמת לעתים להתמוטטות ולשקיעה של קרקע.
- רוב הנזקים הללו ניתנים למזעור באמצעות הדרכים הבאות:
- < מדיניות ייעור קפדנית
 - < סילוק פסולת הכרייה בצורה מבוקרת ושימוש בה לבניית כבישים ושדות תעופה ולמילוי מכרות נטושים כדי למנוע את התמוטטותם ואת שקיעת הקרקע בעקבותיה
 - < שתילת צמחייה כדי למנוע את התפזרותם של חומרי הכרייה וסחיפתם אל מקורות המים
 - < החדרה מכוונת של מים לתוך שכבות סלע אטומות – מים מזהמים שמשחררים מתהליכי כרייה או במהלך הפקת נפט. בדרך זו נמנעת חדירתו של זיהום אל מי התהום.

- נזקים כימיים ודרכי הטיפול בהם:
- < תהליכי ההפקה והעיבוד של חומרי גלם שונים, בעיקר מתכות, מציבים אף הם איום חמור על הסביבה: תהליכי השטיפה של מינרלים מתוך העפרה מייצרים משקעים עכורים הגורמים לסתימת מקורות המים.
 - < חומצות וכימיקלים שונים המשמשים לצורך הפרדה של חומרים מגיעים אף הם אל מקורות המים ומזהמים אותם ואת הקרקע שדרכה הם מחלחלים.
 - < גזים רעילים נפלטים בתהליכי הבעירה השונים, מזהמים את האוויר באופן ישיר ומסכנים את הצמחייה כשהם יורדים כגשם חומצי.

- ניתן לצמצם תופעות אלו על-ידי:
- < טיפול כימי המנטרל או מפחית את רעילותם של החומרים המשתחררים בתהליכי ההפקה.
 - < קבורתם של חומרים אלה או החדרתם לתוך שכבות סלע אטימות.
 - < צמצום הפליטה של גזים רעילים על-ידי איסור שימוש בחומרי דלק מסוימים (למשל, דלק עתיר גופרית) או על ידי סילוק הגורמים המזהמים הנמצאים בהם.

הבעיה החמורה ביותר כיום היא הפסולת הגרעינית. פסולת זו מסוכנת ביותר והכרחי למנוע, בכל מחיר, את חשיפתה לאוויר ולקרקע. לבד מכליאתה במכלים מיוחדים, ניתן לטפל בפסולת זו, על-ידי ספיגתה בסלעי חרסית. בדרך זו מייצבים באופן כימי את הפסולת וקוברים אותה בעומק רב באזורים מיוחדים מבודדים מכל יישוב.

אי אפשר לעצור את השימוש במינרלים כמו שאי אפשר לעצור את התפתחותה של הטכנולוגיה ושל התרבות האנושית. אך לנוכח התרבות אוכלוסיית האדם והגידול העצום בצרכי הקיום, יש לאמץ את התבונה האנושית שהביאה להתפתחותה, גם במאבק ההישרדות שלה בתוך עולם הולך ומידלדל מאוצרותיו, הולך ומזדהם. יש לכלכל את דרך הפקתם וניצולם של משאבי הטבע בצורה מושכלת, בלי לסכן את עתיד האנושות ועתיד החיים על פני כוכב הלכת שלנו.