



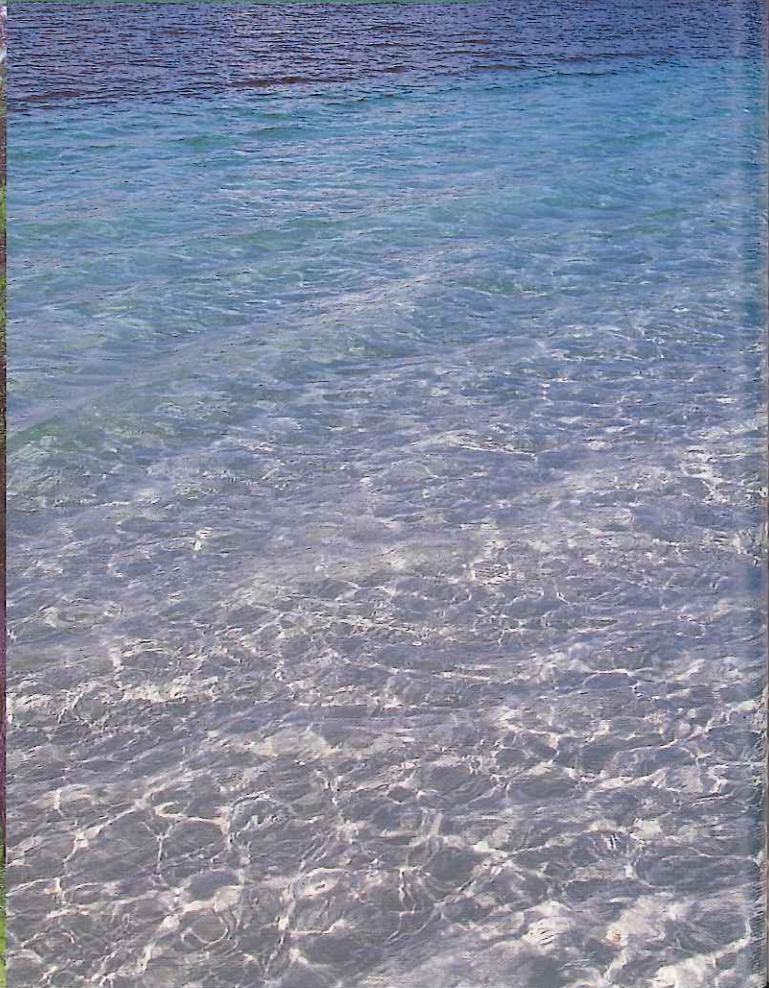
פרק שני

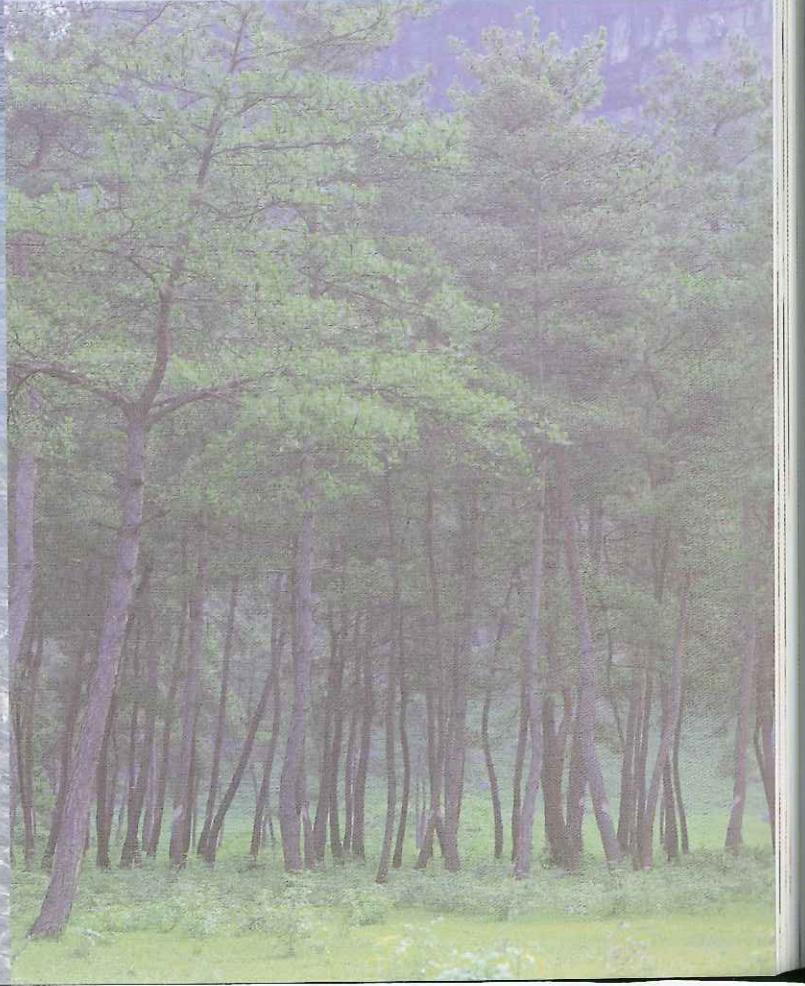
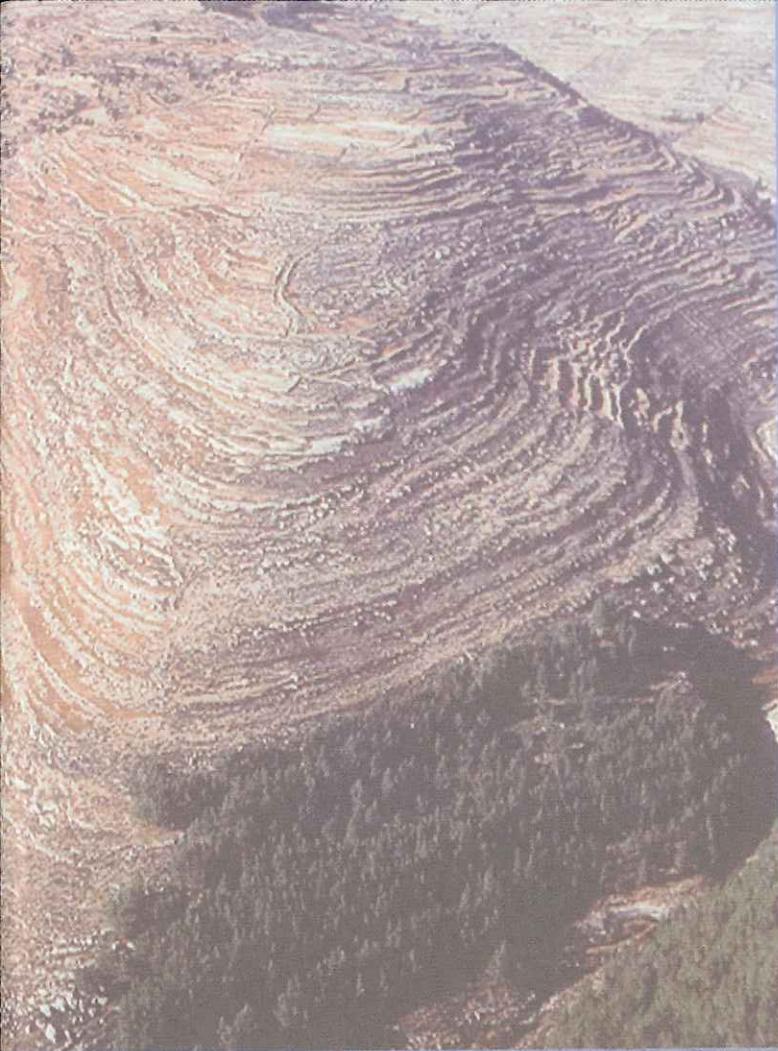
ナチュור הסטטיסטיק ואנטרכטיק צבואר הרים

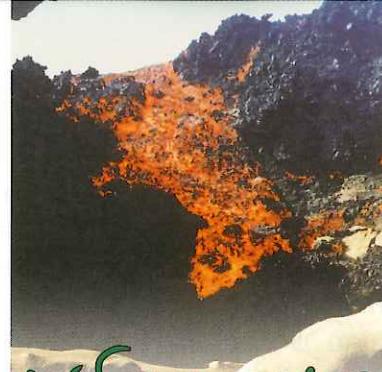
ナチュור הסטטיסטיק

ואנטרכטיק צבואר הרים

'הו, ליאו! ז'ן אנטרכטיק
צבואר הרים גז'ן הרים'



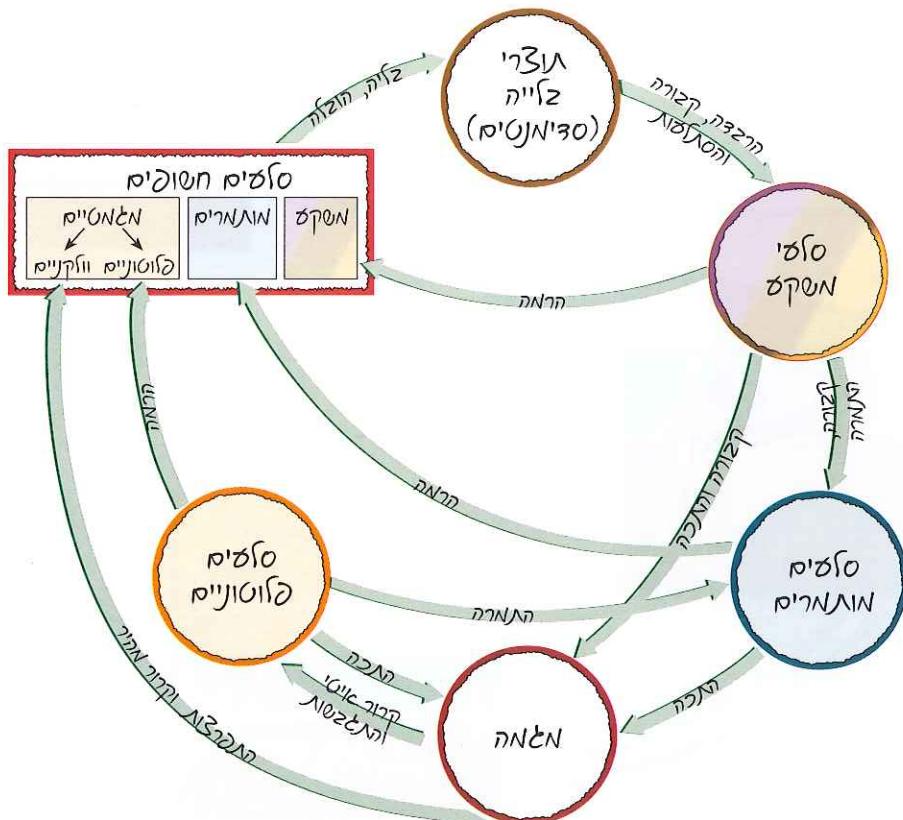




אחור הסלעים

בפרקם הקודמים חקרנו את קבועות הסלעים השונות ומטרת חקר זה ניסינו לאפיין את כוכב הלכת שלנו אנו חיים. ניסינו לגלות מהם הכוחות והתהליכיים קיימים בתוכו ועל פניו ומהו המבנה הפנימי והחיצוני שלו. על פני השטח קיימים תהליכי הרמה, בליה, הובלה, השקעה, הרבדה ולקנים. בפנים כדור הארץ קיימים כוחות מתייחדים ולחיצה הגורמים לעיוותם של סלעים וכן תהליכי קבורה, התמרה התכה ופלוטוניזם.

עד עתה התייחסנו לכל קבועת סלעים בנפרד. אולם כבר לפני 200 שנים הציע הגאולוג הסקוטי ואבי הגאולוגיה המודרנית, ג'ים הטון, כי חיבור כל התהליכיים שהזכרנו עד כה (פלוטוניזם, הרמה, בליה, הובלה, הרבדה, קבורה, התמרה והתכה) יוצר תהליך מחזורי עצום בשטח, נפחו ובעיקר ב景德 הזמן שבו הוא מתרכש. תהליך זה מאופיין בכך שהוא אינו קיים לאורך זמן על פני ובתוך כדור הארץ וכל סלע יכול להפוך לסלע מסווג אחר בעקבות התהליכים שהזכירנו. תהליך מחזורי זה מכונה **מחזור הסלעים** (אייר 8.1).

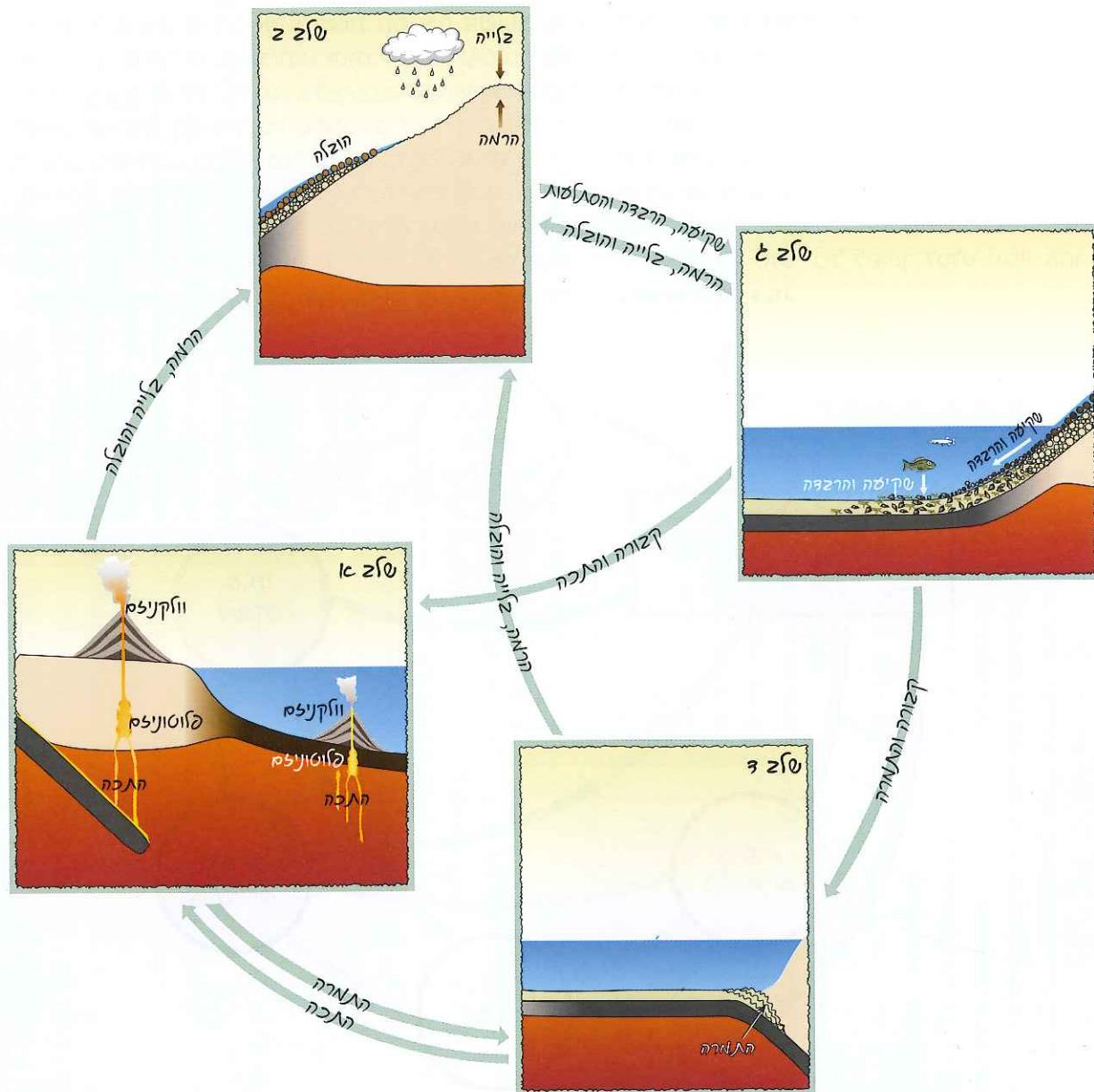


אייר 8.1: מחזור הסלעים בכדור הארץ

נכזה להדגים תהליכי מחוזר זה ביותר פירוט (איור 2.8):

שלב א - סלעים מגמטיים נוצרים מmagmatic שמקורה בתוך כדור הארץ. התגבשותה בתוך הקרום יוצרת סלעים פלוטוניים ואילו התפרצתה על פני השטח יוצרת סלעים וולקניים על גבי היבשות או על קרקעית האוקיינוסים. בתהליך ההתפרצויות משתחררים גזים לאטמוספירה - אם ההתפרצויות היא על פני השטח, או לאוקיינוסים - אם ההתפרצויות היא בתוך האוקיינוסים.

שלב ב - כוחות פנימיים הפעילים בתוך כדור הארץ גורמים להתרוממות הקרקע כלפי מעלה ולהחישפותו לתהליכי בליה. הסלעים עוברים תהליכי של פירוק אשר בעקבותיו נחשפים סלעים הנמצאים בעומק הקרקע. שברי הסלעים מובלים מן האזורים הגבוהים לנמוכים על ידי נהרות. חלק מן החומר נשאר מוצק וחלק ממנו מומס בתוך המים.



איור 2.8: שלבים ותהליכי במחוזר הסלעים.



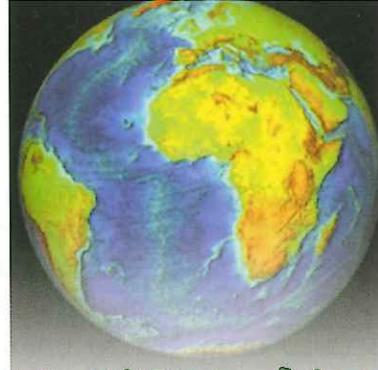
שלב ג - החומר המוצק יכול לשקווע בסביבה נהרית או סמוך לחוף וממנו נוצר סלע גרגורי. החומר המומס שmaguire לגוף מים שמתקיימים בו תנאים של התאדות יתר. החומר המומס שmaguire לים או לגוף מים אחר יכול לשמש בעלי חיים לבניית גופם. עם מותם של בעלי החיים מצטברים שלדים על גבי הקרקע ועוברים תהליכי של קבורה והסתלעות.

שלב ד - קבורתם של סלעים וחיפוים לתנאי טמפרטורה ולהז גבויים גורמים לשינויים בסלעים ולהפיכתם לסלעים מותמרים. בתנאים מסוימים קבורת הסלעים גורמת להתקמתם. עלייתה של מגמה, התקורתה והיווצרות סלעים מגמטיים יוצרת את המעבר משלב ד ל-א וחזר חלילה.

בתיאור ארבעת השלבים לא נשלם מחזור הסלעים. תהליכי הרמה וביליה הוזכוו כמקשרים בין שלב א-ב (בלילה של סלעים מגמטיים) ואולם היא יכולה לקשר גם בין שלב ג-ל-ב (בלילה של סלעי משקע) ובין שלב ד-ל-ב (בלילה של סלעים מותמרים). כל סלע שנוצר בכדור הארץ יכול לעבור תהליכי של הרמה ולכן גם פירוק על ידי כוחות הביליה. כמו כן, תהליכי ההתמרה קיישר בין שלב ג-ל-ד (התמרה של סלעים מגמטיים) ואולם הוא יכול לקשר גם בין שלב א-ל-ד (התמרה של סלעים מגמטיים). תהליכי הקבורה וההתקפה המקשר בין שלב ד-ל-א (התקפה של סלעים מגמטיים) יכול לקשר גם בין שלב ג-ל-א (התקפה של סלעי משקע). כמו כן, סלעים מגמטיים יכולים גם הם לעבור תהליכי של קבורה והתקפה.



בקעת רחבעם בהרי אילית. בעקבות שבירה אפשר לראות סלעי משקע (סלעים בהירים במרכז התמונה) בסמוך לסלעים מגמטיים ומותמרים (סלעים כחולים).

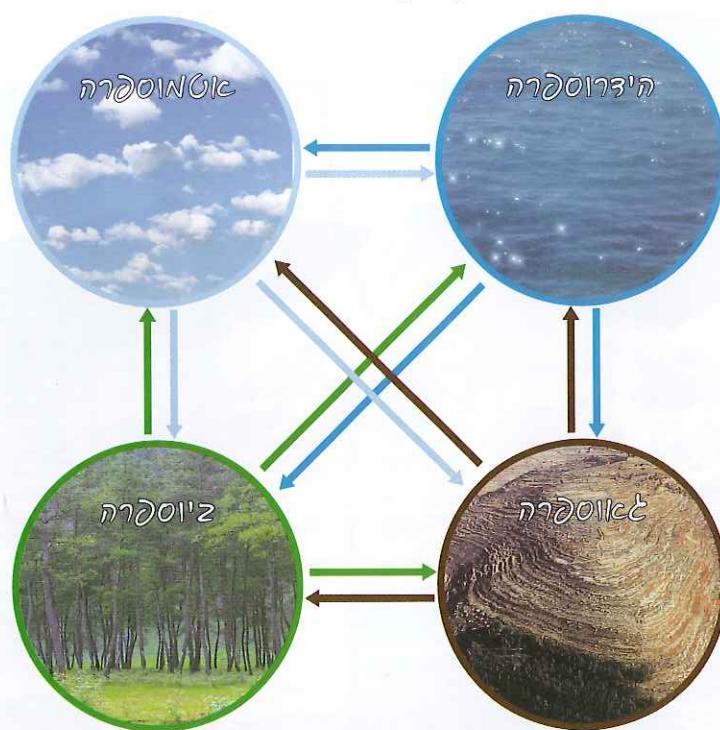


נסרכות כדור הארץ

מחזור הסלעים הוא אכן מחזור עצום בשטחו, בנפחו ובמשך הזמן שהוא מיצג, אולם עדין הוא רק ביטוי למחזוריות בעלת קנה מידה גדול עוד יותר המתקיימת内心 בכדור הארץ. ניתן להתייחס לכדור הארץ כמערכת עצומה, הכוללת את כדור הארץ הפנימי והחיצוני. בתוך מערכת זו מתקיימים תהליכים מחזוריים שונים. דוגמה לכך הוא מחזור הסלעים שתיארנו או מחזור המים (או המוחזר הידרולוגי) שפגשתם בוודאי בעבר (עינו בהרחבה 27). התהליכים המוחזוריים הם תוצאה של מעבר חומר בתוך המערכת העצומה של כדור הארץ בין ארבעה מאגרי חומר גדולים: גאוספירה, הידרOSPירה, אטמוספירה וביוספירה.

הגאוספירה: כוללת את החלק החזק של כדור הארץ, הסלעים והקרענות.
הhidרOSPירה: כוללת את המים הנמצאים内心 בכדור הארץ. המים מרכזים בעיקר באוקיינוסים אולם גם על גבי היבשות בגופי מים כמו אגמים, ימות ונחלות בקרחונים ובמי התחום המצויים בקרקע ובסלעים.

ఈוֹ לְאוּמִין זַיְן נִסְרָכָת כָּדוּר הָרָקֶב



איור 3.8: כדור הארץ בניארבע תת-מערכות שכל אחת מהן יכולה לתרום לתת-מערכת אחרת או לקבל חומר מתת-מערכת אחרת.

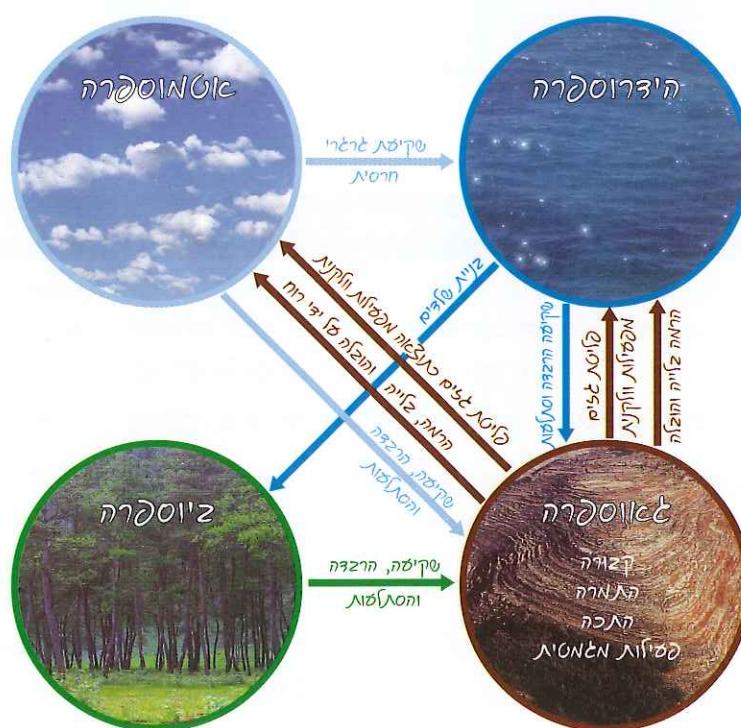
האטמוספירה: כוללת את המעטפת הגזית המקיפה את כדור הארץ. המרכיבים העיקריים בהווים אוטה הם חנקן, מימן, חמצן, פחמן דו-חמצני ואדי מים.

הביוספרה: כוללת את כל בעלי החיים והצמחים (אורוגניזמים) החיים על פני כדור הארץ באטמוספירה, בהידרוספירה ועל פני היבשות.

ארבעת מגיר חומר אלו הם למשה ארבע תת-מערכות הבונות את מערכת העל הגדולה - כדור הארץ. כל החומרים בכדור הארץ נעים באופן מחזורי בתוך כל אחת מערכות כדור הארץ וביניהן. כל תת-מערכת מקבלת חומר מכל אחת מערכות כדור הארץ האחרות ומעבירה חומר אל כל אחד (איור 4.3). כאשר בכל אחת מהן מתרכחת תנועת החומרים בקצב שונה.

אומנם יש גם כניסה של חומר חיצוני מהחלל לתוך כדור הארץ (לדוגמא, מטאוריטים) וכיואת חומר מאטמוספרת כדור הארץ לחלל. אולם, לאחר וכמוות אלו קטנות מאד, ניתן להתייחס לכמות החומר הכללית בכדור הארץ כקבועה. כמות החומר בכל אחת מהמערכות יכולה להשתנות במהלך הזמן. שינויים אלו נובעים משינוי בקצב התהליכים השונים הנגרמים למעבר חומר בין תאנת מערכות אחת לשניה. כתוצאה משנהוים אלו תגדל כמות חומר מסוים במערכת אחת על חשבון השניה. לדוגמה, אם תהליכי וולקניים מואצים בנקודות זמן מסוימת, אז חומר מהאטמוספירה נפלט במצב גז לאטמוספירה וכתוכזהה מכך עולה באותו נקודת זמן כמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה על חשבון הגיאוספירה. האדם מבצע תהליכי דומה בשעה שהוא שורף דלקים לצורכי אנרגיה. בכך, הוא מאיץ את קצב מעבר הפחמן הדו-חמצני מהאטמוספירה לאטמוספירה ומפר את האיזון בין מערכות כדור הארץ לגבי כמות הפחמן הדו-חמצני. מערכות כדור הארץ ייגבו לשינוי וסביר להניח שעלייה בכמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה תגרום לעלייה בקצב סיגת הפחמן הדו-חמצני על ידי האוקיינוסים. אולם מאחר וקצב תנועת החומר בכל תת-מערכת הוא שונה יוווצר מצב שבו עדיף שעבר מהאטמוספירה לאטמוספירה בקצב מהיר מאד (שעות יומיים על ידי Hari געש או שניים על ידי האדם) יעבור מהאטמוספירה למערכות כדור הארץ האחרות בקצב איטי הרבה יותר שימוש על פני מיליון שנים.

מחזור הסגמיים וארכויים כדור הארץ



איור 4.8: מעברי חומר בין 4 תת-מערכות הבונות את כדור הארץ כפי שבאים לידי ביטוי דרך מוחור הסלעים.

יחסים הגומליים בין מערכות כדור הארץ

נכזה לעמוד על יחסי הגומלין בין המערכות השונות הבנות את כדור הארץ דרך ניתוח מוחזר הسلحums אלא שהפעם נתאר מוחזר זה כמעברי חומר בין ארבעת המערכות השונות (איורים 8.3 ו-8.4).

שלב א - בתקהיליך היוציאותם של סלעים מגמטיים קיימים מעבר חומר בתוך הגאוספירה עצמה. שחרור גזים כתוצאה מההתפרצויות ולקנית הוא ביטוי למעבר חומר מהגאוספירה לאטמוספירה אם ההתפרצויות היא על גבי היבשה, או מעבר חומר מהגאוספירה להידרוספירה - אם ההתפרצויות היא בתוך האוקיינוסים.

שלב ב - הבליה המכנית והכימית הן תוצאה של השפעת הhidrosferה האטמוספירה (במידה פחותה גם הביאויספירה) על הגאוספירה.

תקהיליך ההובלה של חומר מוצר או מומס בידי נהרות הוא ביטוי למעבר חומר מן הגאוספירה להידרוספירה.

שלב ג - החומר המוצק השוקע והופך לסלע גרגרי הוא ביטוי למעבר חומר בין הידרוספירה לגאוספירה. גם שקיעה כימית של מינרלים כתוצאה מההתאדות יתרה היא ביטוי לתרומה של הידרוספירה לגאוספירה.

שימוש בחומרים המומסים במים על ידי בעלי חיים הוא ביטוי למעבר חומר בין הידרוספירה לביאויספירה ושקיעתם לאחר מותם. היוציאותם של מינרלים מואבינים הוא ביטוי של תרומת הביאויספירה לגאוספירה.

שלב ד - קבורתם של סלעים והתמרתם הוא ביטוי לשינויים המתרחשים בתחום מערכת הגאוספירה.

מתוך תיאור מוחזריות זו ניתן להגדיר את מערכת היחסים בין המערכות השונות:
א. בכדור הארץ נעשים כל הזמן ולא הפסיק מעבר חומר מתת-מערכת אחת לאחרת אולם הכמות הכללית של החומר נשארת קבועה.

ב. התקהיליכים הטבעיים הם היוציארים את המעברים מתת-מערכת אחת לאחרת.

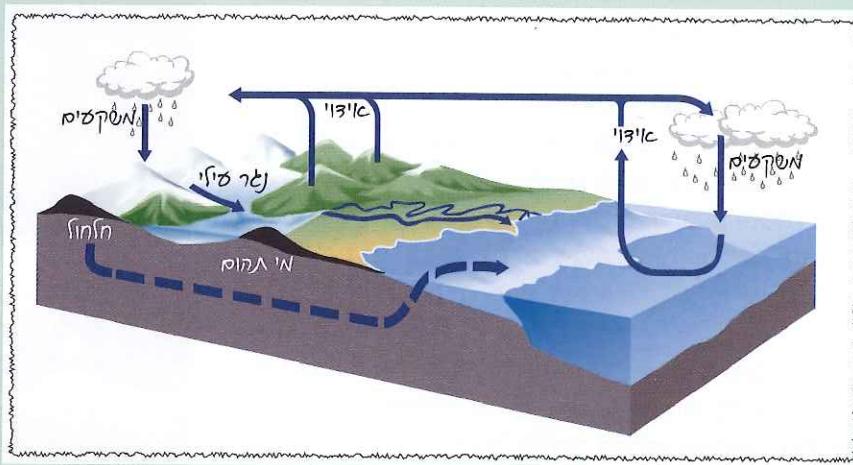
ג. כל תת-מערכת תורמת לבניית סלעים ומנגד להריסתם של סלעים קיימים (טבלה 8.1).

הROLE סגנון קייניאן	הROLE גזעייה סגנון חטף	ALL-ארכאה
הכח שתקוזר קבולה. הଘורה על סגנון קייניאן.	ALKALI: סגנון באלカリום או זוקריום, שחזור לחיים. גלאקטיים או אלカリוספלריה גלאקטיים או זוקריום. היוקלורס גלאקטי אנטקטי וסיגמיט אולריאן.	ALKALI ALKALI ALKALI
הזיהה כיאית ואכית.	פְּרִיכָּלָחָר אֲנוֹסִים טֵן זֶהָן חַיִּס, שְׁקִיפָּתָר כִּיאִתָּה כְּלָבָתָה אַלְלָבָתָה יָמָר.	הALKALIOSPHERE
הזיהה זיילער.	שְׁקִיפָּתָר עַדְעַת זֶהָן אַיִּס וְהַסְּלָמָתָה.	ZEOLITE
הזיהה כיאית ואכית.	סְוִסְמָה חַנְצָלָג זֶעְזָעָה אַיְלָזִים וְסִיגְמִיטָה קְרִזְוּרִים וְחַמְרָתָה שׂוֹבָה	SILICATE

טבלה 8.1: תרומתן של תת-מערכות השונות לבניית סלעים ומנגד להרס של סלעים קיימים.

הרבה 7.2: מחזור המים

המים בכדור הארץ מתחלקים בין מספר מאגרים שונים: אוקיינוסים, קרחונים, מי תהום, לחות באוויר, אגמים, נהרות, ומים הנמצאים בגוף האדם, החיה והצומח. הכמות הכוללת של המים בכדור הארץ היא פחות או יותר קבוצה אולם המים עוברים באמצעות תהליכי טבעיים שונים ממאגר אחד לאחר כל העת (איור 8.5):
המשמש מחממת את פני האוקיינוסים ואלו עוברים אידוי. בדרך זו מולקולות מים עוברות מן האוקיינוסים לאוויר. חלק מאדיהם המים מתעבים לטיפות וכך נוצרים עננים. טיפות המים יורדות כמשקעים (גשם, שלג, ברד) על גבי האוקיינוסים או על גבי היבשה. מים היודדים על גבי היבשה יכולים להיות מספר מסלולים. חלקם יתנקזו לאפיקו נהרות וירמו לאגמים יבשתיים או חוזרת לאוקיינוסים (נגר עלי). חלקם ייחדו דרך הקרקע לתוך הסלעים הנמצאים תחתית וירמו באטיות רבה דרך סלעים נקבובים לעבר נהרות ואגמים על פני היבשה או יזרמו ישירות אל האוקיינוסים (מים אלו נקראים מי תהום). מי האוקיינוסים עברו אידי וחוור חיללה. מבחינת מעבריו חומר בין מערכות כדור הארץ, תhalbו האידי גורם למעבריו חומר מן ההידרוספירה לאטמוספירה ותhalbו ירידת המשקעים וחזרתם לאוקיינוס דרך המסלולים השונים הוא ביטוי למעבריו חומר חוזרת מן האטמוספירה להידרוספירה.



איור 8.5: מחזור המים: מי האוקיינוסים ומים על גבי היבשה עוברים אידי. אדי המים יכולים להתעבות ולרדת כמשקעים על גבי האוקיינוסים או על גבי היבשה. המים היודדים על גבי היבשה יכולים לזרום כלפי עלי או לחלחל דרך הסלעים (מי תהום) ולהזרם באטיות חוזרת לאוקיינוסים. מי תהום יכולים לנבוע על פני היבשה, לעבר אידי וחוור חיללה.



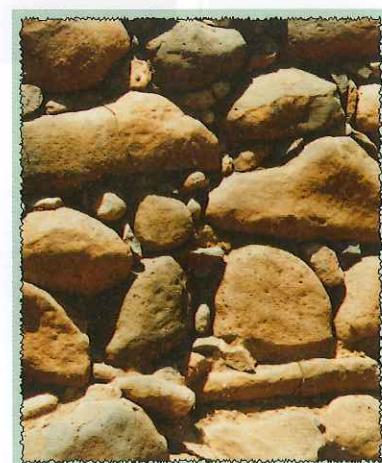
יאסן זרחי נסרך כזר התרבות נסרך

יחידת לימוד זו עוסקת בחומרים הבונים את כדור הארץ لكن יחסינו הגומלי בין האדם לבני מערכות כדור הארץ יבחן דרך שימוש האדם בחומרים אלו. סלעים, מינרלים ודלקים מאובנים משמשים את האדם לצרכים שונים ומגוונים. השימוש יכול להיות בסלעים עצם, במינרלים או בסודות הנמצאים בתוכם ביריכוז גובה וניתנים להפקה בשיטות שונות (על מתכות ואל-מתכות ראו בהרחבבה, 28, עמ' 154). השימושים השונים הם לצורכי בנייה, דישון, תעשייה כימית, תעשיית המטכת, תעשיית המזון, יצור אבני חן, שימוש בענפי האומנות השונים וייצור אנרגיה באמצעות דלקים מאובנים (טבלה 8.2). ככל שאוכלוסיית העולם הולכת וגדלה גם הדרישה לחומרים אלו גוברת. השימוש כדור הארץ בקבנה בחומרים אלו גורם להפרת האיזון הקיים בין מערכות כדור הארץ בקבנה במידה מקומי ועלמי.

כדי להבהיר את השפעת האדם על האיזון הקיים בין מערכות כדור הארץ נביא שתי דוגמאות: מחזור הזרchan ושימוש חדש חדשני כדוגמה להפרת האיזון בקבנה במידה מקומי, ומוחזר הפחמן ושימוש בדלקים מאובנים כדוגמה להפרת האיזון בקבנה במידה עולמי.

מחזור הזרchan ושימוש חדש חדשני הופעת הזרchan במערכות כדור הארץ

היסוד זרchan (P) מופיע בטבע בביוספירה בגאוספירה ובהיידרואספירה. הזרchan אינו יוצר תרכובות גזיות ولكن אינו קיים באטמוספירה אולם חלקיקים זעירים המכילים זרchan יכולים לשחות באטמוספירה. בביוספירה הזרchan הוא מרכיב חיוני של מולקולות אורגניות וכן הוא מרכיב חשוב עצמות, בשיניים, בצליפורניים ובקונכיות של רכיכות. בהידרואספירה הזרchan הוא חלק מתרכובות המומסות במים או במים על גבי היבשה (אגמים, נהרות או מים בחללים בין מרכיבי הקרקע המוצקים). בגאוספירה הזרchan מופיע בתוך המינרל אפטיט הנמצא ברכיכות נמכים בסלעים מגמטיים ובריכוזים גבוהים בסלעים הfosforit.



שימוש בסלעים לצורך בניית גדרות. מעליה גדר בנייה מסלע גיר על אחת מן הלבנים מופיע דפוס של מאובן. למטה גדר בנייה מחולקים.

טבלה 2.8: השימושים השונים שיעשה האדם בחומרי כדור הארץ.

הרחה 28: מתקות ואל-מתקות

מתקות הן קבוצת יסודות כימיים בעלות תכונות מיוחדות: הן בעלות ברק, בעלות מוליכות חשמלית ובעלת יכולת הולכת חום טוביה, ניתנות לרכיבים לשיטחים דקים ונתוחות לחוטים דקים בקהלות. הודות לכך יש להן שימושים רבים (טבלה 8.2). מבין 106 היסודות המוכרים 81 הן מתקות.

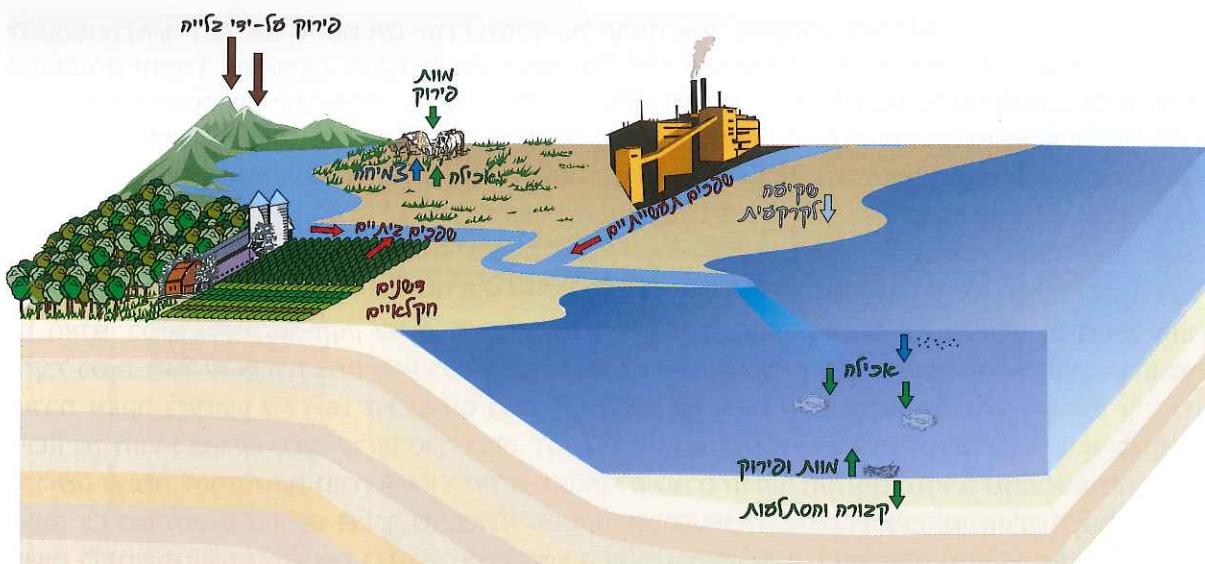
מתקות משמשות לייצור מגוון רחב של דברים המוכרים לנו מחיי היום יום, כמו: מכוניות, אופניים, מקררים, מטבחות, מפותחות ועוד ועוד. במהלך ההיסטוריה, זהב וכיסף שימשו ליצור תכשיטים ועיטורים משומש שהן מתקות רכות יחסית וקלות לעיבוד. חלק מן המתקות מעורבותה זו בזו ויצירות נתקר. פליז הוא נתקר של נחושת בדיל ואבץ. ארד (ברומה) הוא נתקר של נחושת ואלומיניום. הנתקר השימושי ביותר היום הוא פלדה, שהיא תערובת של ברזל ומתקת נוספת.

מספר קטן של מתקות מופיעות כמתכת טהורה (כסף, זהב ופלטניום). רוב המתקות מופיעות בתוך מינרלים בתרכובות שבהן המתקות הקשורות ליסוד אחד או יותר. לא כל המינרלים משמשים מקור למתקות. מינרל משמש מקור למתקת אם ריכוז המתקות בו גבוה מספיק מבחינה כלכלית. מינרלים אלו נקראים **מינרלי בצר** והסלעים המכילים אותם נקראים **צרים**. סלעים אלו מכילים כמובן גם מינרלים חסרי משמעות כלכלית. הוצאה המתקת מן הבצר דורשת שני שלבים: שלב מכני של כרייה הפרדה וריכוז של מינרלי הבצר משאר מרכיבי הסלע. שלב חממי שבו היסוד מופרד מיסודות אחרים. המתקות הנפוצות הן ברזל, אלומיניום וטיטניום. המתקות הנדרות הן נחושת, עופרת, אבץ, טונגסטן, קרום, זהב, כסף, פלטניום, אורוגנים, כספית ומוליבידום. ליסודות שאינם נכללים בקבוצת המתקות אלו נקראים **אל-מתקות**. יסודות אלו גם כן משמשים, למטרות שונות. הגופרית למשל, מופיעה כיסוד טהור והוא משמשת ליצור חומר גוף רפואי המנצלת למטרות תעשייה שונות. סלעי פוספוריט הם המקור לזרחן שממנו מיוצרים דשנים לצרכים חקלאיים. על שימושים נוספים עיין בטבלה 8.2.

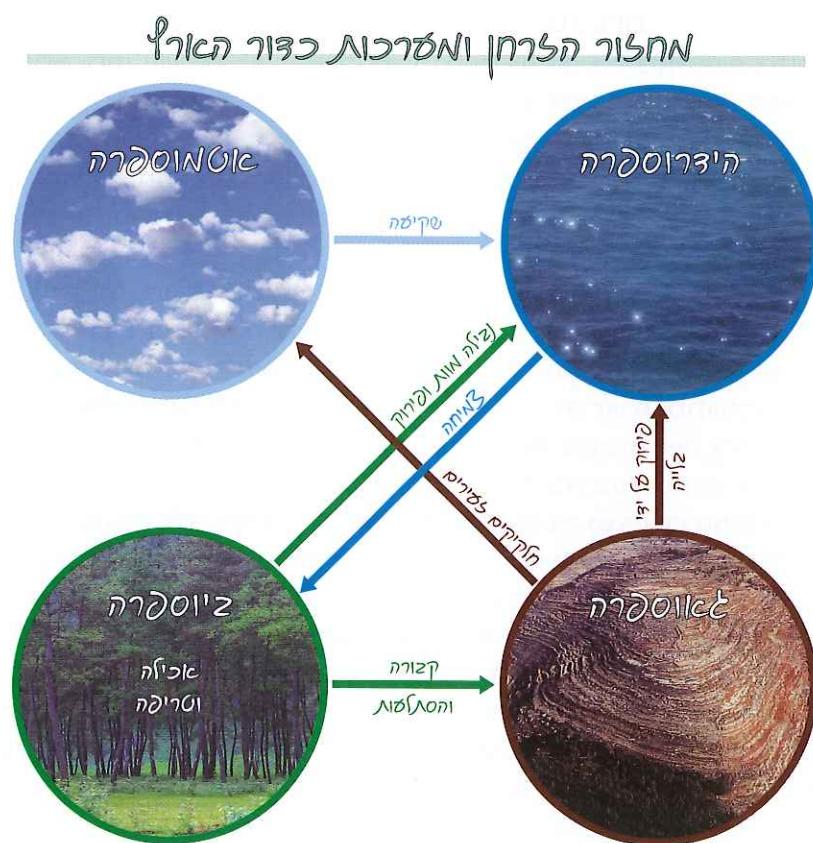
מחזור הזרחן בטבע – מעברי הזרחן בין מערכות כדור הארץ

הצחים החיים על גבי היבשה קולטים את תרכובות הזרחן, החינויות לגדילתם, מן המים הנמצאים בין החללים בקרקע. הזרחן מגע אל בעלי חיים על ידי אכילת צמחים - בעבר בעלי חיים צמחוניים, או על ידי טריפת בעלי חיים אוכלי צמחים - בעבר בעלי חיים טורפים. לאחר מותם של בעלי חיים נובילתם של הצמחים, החומר האורגני מתפרק על ידי בעלי חיים זעירים הנמצאים בקרקע (מיקרואורגניזמים). תרכובות הזרחן ממושאות בידי החללים בקרקע והופכות להיות זמינות לצמחים נוספים (איור 8.6). אם כן, בהתאם להגדילה של הצמח זרחן עבר מן ההיד魯ספירה לביאופורה, ובתהליך המOOT והפירוק של צמחים ובבעלי חיים זרחן עבר חזרה מן הביאופורה להיד魯ספירה (איור 8.7).

במי הימים המהווים דומה מאוד: צמחים ימיים קולטים תרכובות זרחן ממי הים. בעלי חיים ימיים צמחוניים קולטים את הזרחן דרך אכילת צמחים, ובעלי חיים ימיים טורפים מקבלים את הזרחן דרך טריפה של בעלי חיים אוכלי צמחים. לאחר מותם של הצמחים ובבעלי חיים הם שוקעים לקרקעית והחומר האורגני מתפרק על ידי מיקרואורגניזמים, ותרכובות הזרחן חוזרות למיים (איור 8.6). עד כאן, מעברי החומר בין המערכות השונות דומים לפחותו אחד: מעבר מן ההיד魯ספירה לביאופורה וחזרה להיד魯ספירה (איור 8.7). בסביבה עשרה בבעל חיים בעלי שלד פנימי (דגים, קרישים) מצטברים חלקו של הקשים על גבי הקרקע וונוצר סדימנט עשיר בזרחן. לאחר תהליכי קבורה והסתלעות של סדימנטים אלו נוצר סלע פוספוריט העשיר בזרחן (תיאור מפורט של היוצרות סלע הפוספוריט מופיע בפרק הרביעי) (איור 8.6). בתהליך הייצורתו של סלע הפוספוריט ישנו מעבר חומר מן הביאופורה



א�ר 8.6: מבחן הזורתן ופעולות האדם הגורמת לחוסר האיזון של התהליכים הטבעיים. חצים יוקדים - מעבר חומר הקשורים בביוספרה, חצים כחולים - מעבר חומר הקשורים בהידרואספירה, חצים חומים - מעבר חומר הקשורים לגאוספירה, חצים אדומים - מעבר חומר הקשורים בפעולות האדם.



איור 7.8: מעברי חומר בין מערכות כדור הארץ כפי שבאים לידי ביטוי במחזור הזרחן.

לגאוספירה (איור 8.7). אם סלעים אלו יעברו תהליך של הרמה אשר בעקבותיו יפעלו על הסלע תהילci בלילה, סלע הפוספוריט יתפרק לחלקיקים. חלקיקים אלו, העשירים בזרן, ינעו עם מי הנהרות חזרה אל הים. בדרך זו תהיה תרומה של הגאוספירה להיד魯ספירה. חלקיקים קטנים יכולים לעוף עם הרוח ולש��ע על גבי הקרקע ולהעשיר את מי הקרקע בתרכובות זרחן. בדרך זו יהיה מעבר חומר מן הגאוספירה דרך האטמוספירה להיד魯ספירה. העשרה מי הקרקע וממי הים בזרן מאפשרת את קיומם של התהילcis שתוארו בהתחלה וחוזר חלילה (איורים 8.6, 8.7).

האדם, מחזור הזרחן ומערכות כדור הארץ

גם האדם, כמו כל יצור חי, זקוק לזרחן. חישובים מראים כי אדם בוגר זקוק ל-1.3 קילוגרם זרחן בשנה. האדם מקבל כמות זו על ידי אכילת צמחים או בעלי חיים. גם הצמחים ובבעלי החיים שלהם ניזון האדם וזוקנים לזרחן. פרה ריכזו של זרחן בקרקע נמוך. קרקע טרה רוסה, למשל, מכילה 0.1-2 מיליגרם זרחן לקילוגרם קרקע ואילו הכמות הדרישה לצומח להתפתחות טוביה היא 11 מיליגרם זרחן לקילוגרם קרקע. חקלאים גדלים מספר גידולים במהלך השנה וכן משתמשים בקרקע לאורך שנים ללא הפסקה. הקרקע יכולה להידלד מהר מן זרחן ולא להניב יבול. משומן כך משתמשים החקלאים בדשן זרחתני לדישון השדות וכך הזרחן אינו עוד גורם מגביל. גם בברכות לגידול דגים משתמשים בדשן זרחתני לצורך העלת תפוקת הדגים. את הדשן זרחתני מפיקים מסלע הפוספוריט (עיננו בהרחבה 29). הזרחן משמש גם לייצור חומרי ניקוי וכן לשימושים תעשייתיים שונים.

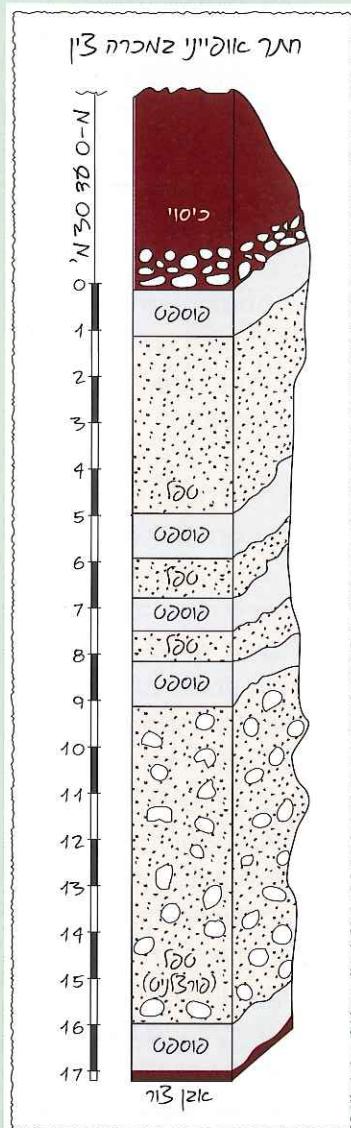
פעילות האדם והשפעתה על ריכוז הזרחן במערכות הטבעיות

שפכים תעשייתיים ובובבי ביתי עשירים בזרחן (זרחן מצוי בהפרשותיהם של בעלי חיים בתוכם האדם). הזרמתם דרך המערכת הטבעית של הנהלים לאגם או לים גורמת לעלייה בריכוז הזרחן בגופו המים. כמו כן, מי גשםים המתנקחים דרך שדות חקלאיים שעבורי דישון למערכת הניקוז הטבעית או הזרמת מים מברכות דגים למערכת הנהלים הטבעית גורמת להעשתת מי הנהר וגוף המים שלו זורמים מי הנהר בזרחן. נמצא, כי בגופי מים רבים ריכוז הזרחן על פי 10 עד 100 משתיו לפניו תחילת פעולת האדם בסביבת גוף המים (איור 8.6).

כיצד משפיע עודף הזרחן על המערכת הטבעית בגוף המים?

עליה בריכוז הזרחן בגוף מים מעודדת גידלת אצות שהן צמחים זעירים החיים במים. תהליך זה נקרא פריחת אצות. גידלת האצות מתרכשת באחור העליון של גוף המים, לשם חודר או הר שטמפרטורת המים משתנה (עליה או יורדת בגליל חילופי עונות) הצמחים מתים, שוקעים לקרקעית ומתווספים לחומר הארגני העובר פירוק. פירוקם, באמצעות חמצן, משחרר למיים תרכובות אורגניות פשוטות של זרחן המשמשות כחומר מזון לאצות בעונת הפריחה הבאה. עודף החומר הארגני, העובר פירוק באמצעות חמצן, גורם לדלדול החמצן בגוף המים. אם כמות הזרחן המגיעו לגוף המים אינה מבוקרת יכול להיות מצב שבו החמצן במים יונצל לגמרי וגוף המים יהיה חסר חמצן לחלוין. בעלי החיים התלויים בחמצן לא יוכל להתקיים יותר. הם יموתו וישקעו לקרקעית. שרשת המזון תקרוס כולה והמים יוכנו מים מתים. בתנאים אלו לא כל בעלי חיים מתים. ישן בקטניות ומספר צמחים המסוגלים לחיות במים גם כאשר אין בהם חמצן בכלל. תהליך פירוק החומר הארגני על גבי הקרקע ימשיך. בתהליך פירוק החומר הארגני ללא חמצן משתחררים למים גזים רעלילים $(\text{CH}_2, \text{H}_2)$. ברגע שמתחל תהליך של פריחת אצות, איכות המים הולכת ויורדת כך שאם המים ישמשו לשתייה או להשקייה, הם לא יהיו ראויים עוד לכך (על המתחש בכינרת עיינו בהרחבה 30). אם שרשת המזון קורסת לגמרי, המים מכילים גזים רעלילים לאדם ומם המים עולה ריח של צחנה שמורגןש בכל האזור הסמוך לגוף המים.

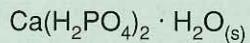
הרחהה 29: סלע הפוספוריט כמקור לדשנים



איור 8.8: חתך המattaר חילופין בין סלעי פוספט, ורוביי ביניים הנកראים טפל.

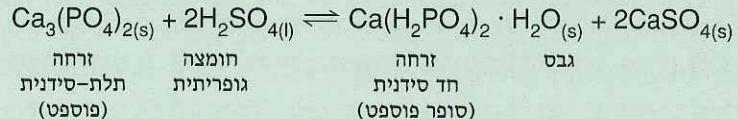
דשן זרחתני הוא המקור העיקרי לאספקת זרחן לצמחי, חי ולאדם. סלע הפוספוריט הוא חומר גלם אשר ממנו מייצרים את הדשנים הללו. בארץ, מצויים סלעי הפוספוריט (או סלעי הפוספט) באזורי הנגב. שדות הפוספט העיקריים המוכרים לנו הם ארוון, נחל צין, ערד, עין היב ובירה זוהר. סלע הפוספט בארץ בנויים בעיקר מהמינרל אפטיט וקלציט וכן מכミニות קטנות ומשתנות של גבס, מלת, קוורץ, חרסית ועוד. המינרל אפטיט הוא המקור לתחמוצות זרchan ($\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot (\text{Ca}_5(\text{F}, \text{OH})_3)$ וαιול קלציט מלבדו גרגרי האפטיט. הפוספט מופיע בדרך כלל בשכבות בעובי 2.5-5.0 מטר ובינהן רובדי בינויים של חומרים זרים (איור 8.8). ייצור הדשן הזרחתני כולל מספר שלבים:

1. כרייה: העבודה במכרות מתנהלת בשיטת "כריה פתוחה" בפסים ארוכים וצרים. את הרכיסוי העליון מפנים ואילו את שכבות הפוספט הטוב מצויים באמצעות דחפורים ומעמיסים על משאיות גדולות והן מובילות את חומר הגלם אל מגרסות שליד המפעלים. בשכבות כיסוי או שכבות פסיפט קשות נעזרים בפיצוצים. את רובי הבוניים מעבירים לתוך פסי הכריה הקודמים שכבר פונה מהם פוספט.
2. גירסה: החומר המגיע מן המכרות אל המפעל נשפר לתוכו מגרסות ענק.
3. העשרה: תחיליך זה הוא תהליכי הכולל מיוון מקטע הגרגירים הרצוי מכלל חומר הגלם. את המקטע הגס מפרידים על ידי סדרת נפות רוטטות לאחר שהחומר הושרה במים. הפסולת הדקלה ממונעת על ידי הרמתה העיטה דרך מפרידים. גרגרי הפוספט הרצויים עוברים שטיפה נוספת במים טריים להמסה ולסילוק שאריות של מלחים ומוועברים לתנורים לצורך יבוש.
4. ייצור דשן זרחתני: הפוספט אינו מסיס במים ולכן הצמח אינו מסוגל לקלוט מן הפוספט את הזרחן הדרוש לו. על ידי תגובה בין פוספט לחום דק לבין חומצה גופרית מקבלים דשנים זרחתניים מסיסים הזמןנים לצמחי.



הפוספט והדשן הזרחתני נמכרים בארץ ומוצאים למدينות מערב ומזרח אירופה וכן לזרחה הרחוק. מלבד ייצור דשנים, הפוספט משמש לצרכים נספינים: ייצור חומרים פלסטיים, צבעים, חומרי הדברה וניקוי למיניהם, שימורים, תרופות וגפרורים. כמו כן רבים שימושיו בתעשייה הצבאית.

ניסוח 1:



הרחהה 30: השלقت השימוש בדשן זרחתני באגן היקוות הכנרת



איור 9.8: גידולים חקלאיים וברכות דגים בעמק החולה.

במי הכנרת מומסים חומרים שונים כמו זרchan, חנקן, גופרית, פחמן, ברזל, מגן, סיין ועוד. אלו נמצאים במקרים מסוימת תרכובות שונות והן הבסיס לשרשראת מזון ענפה המתקיימת באגם. הצרך הראשון של החומרים הללו הן האצות (פיטופלנקטון) החיים במימי הכנרת. הן נטרפות על ידי בעלי חיים צעירים (זואופלנקטון) או דגים מסוימים (כמו אמנון הגליל) ואלה נטרפים על ידי דגים אחרים (כמו הלבנון למשל). מרכיב חיוני נוספת לשרשראת המזון באגם הוא חמצן המומס במים ומשמש את בעלי החיים לשήמה וכן נדרש בתהליכי פירוק החומר הבונה את גופו בעל החיים לאחר מותם. מקורה של החמצן המומס במים הוא בתהליכי הפוטוסינתזה של הצמחים (בעיקר האצות) החיים במים.

איכות המים נמדדת על סמך שלושה משתנים: כמות החומרים ממוקור אורגני ואי-אורגני המומסים במים, כמות החמצן המומס במים וכמות האצות והחיידקים במים. ככל שכמות האצות במים קטנה יותר איכות המים יורדת ככל ירידת בקמות החמצן. מכיוון שמי הכנרת הם המקור החשוב ביותר בארץ למי שטיה ישנה חשיבות רבה מאוד לשימירה על איכות המים.

איך מה יכול לגרום לשינויים בכמות האצות במים? האצות ניזנות מחנקן וזרchan. הזרchan הזמן לאוצר נמצא במקומות מוגבלים באגם ולכן הוא הגורם המגביל את צמיחתן. אספקה רבה של זרchan לאגם גורמת לפריחת האצות ולהפוך אספקה מעטה מגבילה את גידולן. מהו המקור לזרchan במי הכנרת?

הזרchan מגיע לכינרת עם מיי הירדן שהוא המקור העיקרי למי הכנרת. הירדן מנוקז בארץ את אזור הגולן, הגליל העליון ועמק החולה. הזרchan המגיע לכינרת מופיע בשלוש צורות במים: חלקיקים שמקורם אי אורגני (זרchan חלקיקי), זרchan מומס במים וזרchan אורגני. זרchan חלקיקי המגיע אל האגם שוקע במהירות על קרקעית האגם. הזרchan המומס והזרchan האורגני הם חומרי מזון (בוטריניטים) מצינים לאצות. סוף החורף והאביב הם תקופות פריחת האצות. בתקופות אלו הזרchan שבמים נאגר בתוך האצות הפלנקטוניות. בmonths, בסוף האביב וראשית הקיץ, חלקן שוקעות על גבי הקרקעית והשאר מתפרק במים.

רוב הזרchan נתרם מפעליות של האדם באזור אגן היקוות של הנهر (איור 9.9). השימוש העיקרי בזרchan הוא לדישון ברכות דגים באזורי עמק החולה. בעת הרקמת הברכות ונשפכים המים לירדן ודרך לכינרת. מקור חשוב נוסף בשפכים ביתים ורפתות בכל אזור אגן היקוות. ניקוז לא מבוקר ממוקרות אלו יכול לגרום לפריחת אצות ולירידה חמומה באיכות המים.

בשנות האחרונות מפלס מי הכנרת נמוך במיוחד וישנו חשש כי שאיבת יתר של המים תגרום ליציאת הזרchan הקבור במשקעי האגם לגוף המים ולעליה בריכוזו.

כדי למנוע את הגעת הזרchan למי הכנרת צומצמו חברות רבות להשקית גידולים חקלאיים, שטח מרעה או חורשות. שטח ברכות נצלו לשימוש חוזר באגן היקוות להשקית גידולים חקלאיים, שטח מרעה או חורשות. שטח ברכות הדגים צומצם מאוד, מ-16,000 דונם בשנת 1975 ל-6000 דונם (נכון לשנת 1992).

משמעותם רבם הוקցבו לבניית מאגרים באגן היקוות כדישמי הביבוב לא יגיעו אל הכנרת. אם בעבר זרמו 11-10 מיליון מטר קוב מים שפכים בשנה לבניית המאגרים זורמים רק 1.5-1 מיליון מטר קוב בשנה (נכון לשנת 1992).

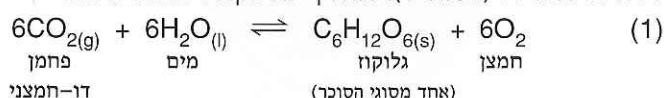
מחזור הפחמן ושימוש בדלקים מאובנים

הופעת הפחמן במערכות כדור הארץ

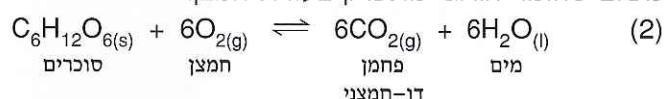
היסוד פחמן מופיע בטבע בארבע המערכות שהזכרנו: אטמוספירה, ביוספרה, גאוספירה והידרוספירה. באטמוספירה הפחמן מופיע בעיקר בצורה גז של פחמן דו-חמצני (CO_2). בהידרוספירה, גז זה מומס בתחום המים. ישנו שווי משקל בין כמות הפחמן הדו-חמצני הנמצאת באטמוספירה לבין זו הנמצאת בהידרוספירה, כך שאם ריכוזו עולה באטמוספירה הריכוז עולה גם בהידרוספירה ולהפך. בביוספירה הפחמן נמצא נציג בתרכובות אורגניות הבונות את הצמחים ובגוף של בעלי החיים. בגאוספירה הפחמן נמצא בתחום סלעים קרboneטיים כמו גיר, קוורטן ודולומיט (עיניו בהרבה 15 בפרק הרביעי) ובדלקים מאובנים. דלקים מאובנים הם שם כולל לחומרים הנמצאים בגאוספירה וניתן להפק מהם אנרגיה כמו נפט גז ופחם. מקרים בחומר אורגני שנකבר בתחום הסדימנט (ולכן מכונים מאובנים) מעבר לשינויים בדרגות שונות (על דרך היוצרותם עיניו בהרבה 20 בפרק הרביעי). הפחמן עובר בצורה מחזורית ממגרר אחד לאחר ובין ארבעת המאגרים קיים שווי משקל טבעי (איור 10.8).

מחזור הפחמן בטבע – מעברי הפחמן בין מערכות כדור הארץ

gas הפחמן הדו-חמצני הנמצא באטמוספירה משתמש את הצמחים מכלי הצלורופיל, יחד עם מים ואנרגיית השימוש לצירמת סוכרים (ניסוח 1). תהליך זה נקרא פוטוסינטזה.



על כל מולקולת פחמן דו-חמצני הנקשרת בחומר הצמח משחררת מולקולת חמצן. הגלוקוז משמש מזון לצמחים עצמים ולבני חיים אוכלי צמחים. באמצעות תהליך הנשימה בעלי חיים וצמחים קושרים חמצן עם גליקוז ועל ידי כך משחררים את האנרגיה שנאגרה בתהליך הפוטוסינטזה. בתהליך זה מולקולת החמצן משמשת להפקת אטומי פחמן אורגניים לפחמן דו-חמצני אטמוספרי ולמים (משווהה 2). תהליך זה נקרא גם תהליך של חימצון מושום שחומר אורגני מתפרק בעזרת חמצן.

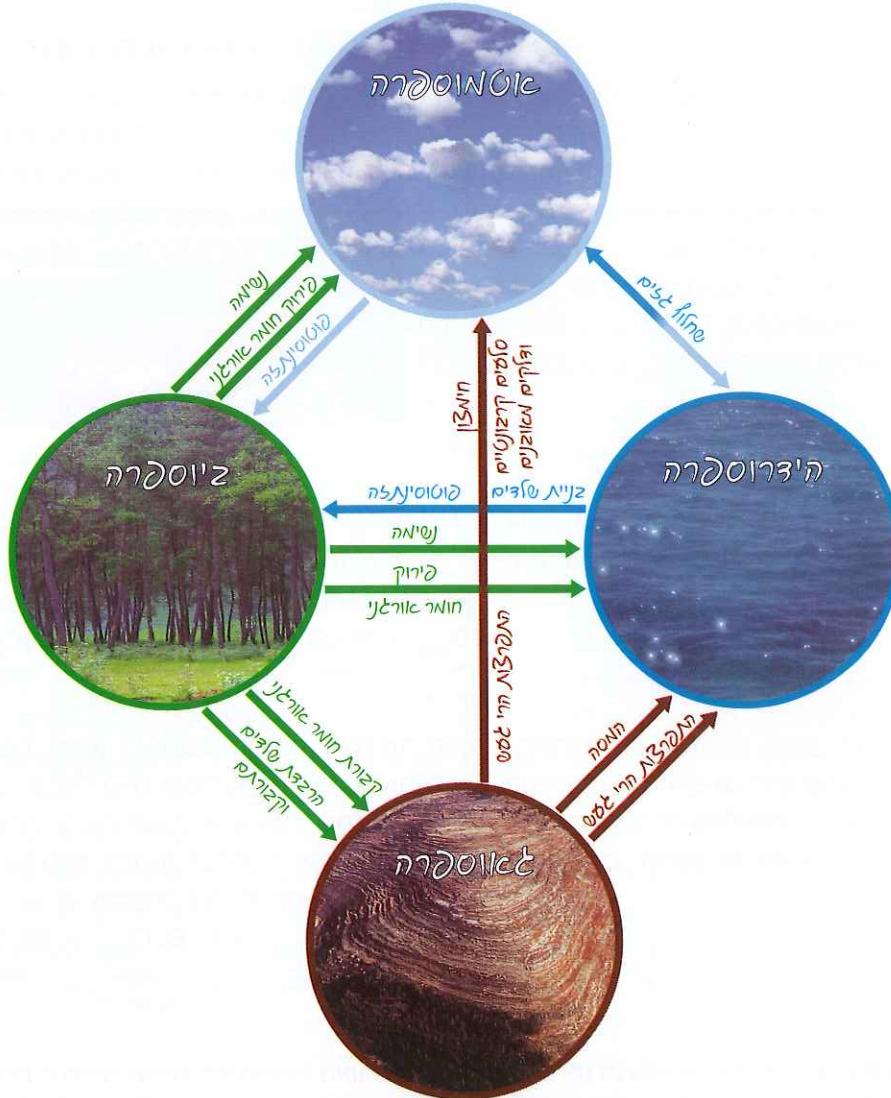


כאשר בעלי חיים וצמחים מתים, התרכובות האורגניות מכילות הפחמן מתפרקות בתהליך של חימצון לאטמוספירה משחרר פחמן דו-חמצני. הפחמן, אם כן, עובר מהביוספירה לאטמוספירה ולהפך (איורים 8.10 ו-8.11).

חלק קטן מן החומר הצימי יכול להיקבר ללא פירוק ולהפוך לפחם (על הייצורות פחם עיניו בפרק הרביעי הרחבה 20). חומר זה עובר פירוק רק אם מתרחשת הרמה אשר בעקבותיה פועלים כוחות הבליה וגורמים לחשיפת החומר ולפירוקו בתהליך של חימצון. בתהליך זה משחרר פחמן דו-חמצני חזרה לאטמוספירה. ככלומר, פחמן עובר מן הביוספירה לגאוספירה וחזרה לאטמוספירה (איורים 8.10 ו-8.11).

פחמן דו-חמצני המומס בהידרוספירה משמש את הצמחים החיים במים באוטה צורה כמו את אלו שעלי גבי היבשה. גם צמחים אלו משתמשים בפחמן הדו-חמצני לצירמת סוכרים באמצעות תהליך הפוטוסינטזה. צמחים אלו בדרך כלל חיים באזוריים של מים רדודים או בעמודות המים העלוניה לשם חודר או הר השם. צמחים ימיים משמשים מזון לבני חיים ימיים. הצמחים ובעלי החיים הימיים מפיקים אנרגיה על ידי פירוק התרכובות האורגניות מכילות הפחמן באמצעות תהליך הנשימה אשר כתוצאה ממנו משחרר גז פחמן דו-חמצני חזרה למים. עם מותם של בעלי חיים והצמחים הימיים מתפרקות התרכובות האורגניות בתהליכי חימצון אשר בעקבותיהם משחרר שוב גז הפחמן הדו-חמצני למים. אם כן, ישנו מעבר חומרמן מן ההיידרוספירה לביאוספירה דרך תהליך הפוטוסינטזה ומעבר חומרמן מן הביוספירה חזרה להידרוספירה בתהליכי נשימה וחימצון חומרמן מת (איורים 8.10 ו-8.11).

אחסון והחזרה ואיסור כזוז הקרקע



איור 8.8: מעבר חומר בין מערכות כדור הארץ כפי שבאים לידי ביטוי במחזור הפחמן.

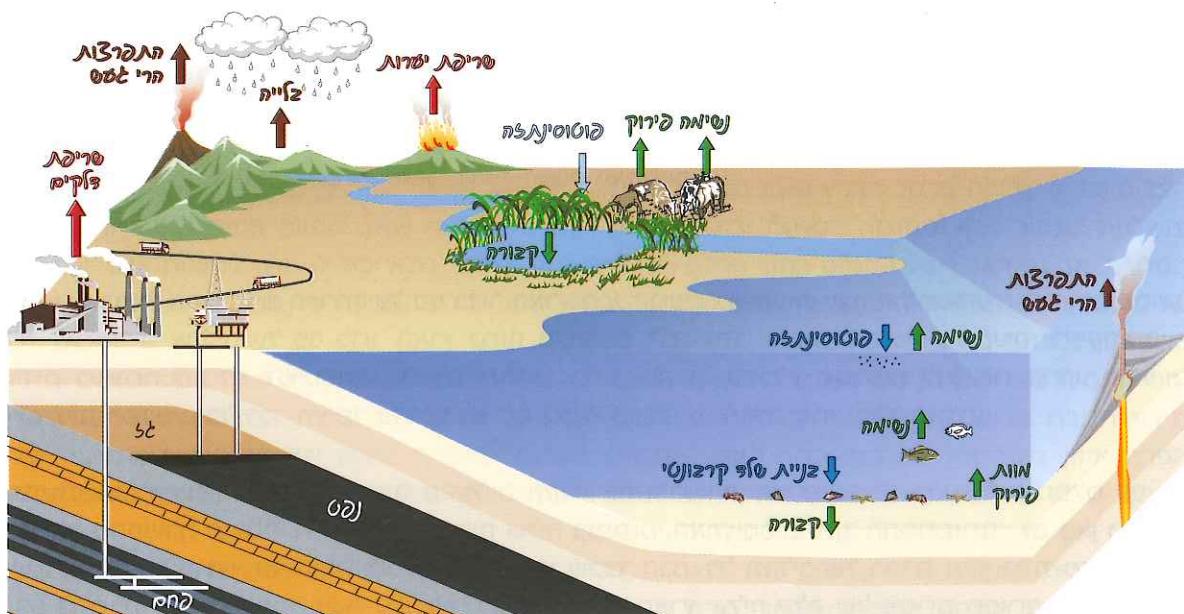
בעלי חיים ימיים מסוגלים למצות מן המים בקרבונט וסידן לבניית שילד קשה הבניי ממינרלים קרboneטים (קלציט או ארגוניט). עם מותם, שילדים שוקע ומצטבר כסדייננט על גבי הקרקע, ולאחר קבורה תחת סדימנטים ונספים הופך הסדייננט לסלע גיר או קוורטן. בעקבות תהליכי התרומות, חשיפה על פני השטח ובליה, המינרלים הקרboneטים מומסים. הסידן מושע עם מי הנהרות חזירה לים ופחמן דו-חמצני חוזר לאטמוספירה. אם כן, בניית שילד בעל החיים מבטה מעבר חומר מן הhidrosferה לביאוספירה, קבורתו והפיקתו לסלע מבטה מעבר חומר מן הביאוספירה לגיאוספירה ותהליכי חשיפה ובליה גורמים למעבר חומר מן הגיאוספירה לאטמוספירה ולהidrosferה (איורים 8.10 ו-8.11).

בתנאים מיוחדים, חומר אורגני של בעלי חיים ימיים או של צמחים יבשתיים יכול להיקבר גם הוא תחת סדימנטים אחרים ומآلיו ייווצרו דלקים מאובנים. (על הייצורות דלקים מאובנים עינו בפרק הרביעי הרחבה 20). חומר זה יכול גם הוא להיחשף על פני השטח לאחר תהליכי הרמה ובליה ופירוקו על ידי חמצן יגרום למעבר גז פחמן דו-חמצני לאטמוספירה או למעבר חומר מהגיאוספירה לאטמוספירה (איורים 8.10 ו-8.11).

יש לציין כי בהתרכזיות הרוּ געש ישנה פליטה של גז פחמן דו-חמצני לאטמוספירה - אם ההתרכזות היא על פני השטח, או להידרוספירה - אם ההתרכזות היא בתוך האוקיינוסים. אם כך, קיים מעבר חומר מן הגיאוספירה להידרוספירה או לאטמוספירה (איורים 8.10 ו-8.11).

האדם, מחזור הפחמן מערכות כדור הארץ

האדם המודרני למד להפיק אנרגיה על ידי שרפת דלקים כמו פחם נפט וגז טבעי לצורכי תעשייה ותחבורה. דלקים אלו מכילים את היסוד פחמן ושרפתם גורמת לפירוק מולקולות אלו ולפליטת גז פחמן דו-חמצני לאטמוספירה. כמו כן, האדם גרם לשרפתי יתרות לצורך ניצול שטחים אלו לצרכי השונאים. שריפת יערות גורמת לשחרור פחמן דו-חמצני לאטמוספירה. תהליכיים אלו גרמו לשחרור מוגבר של פחמן דו-חמצני לאטמוספירה (איור 8.11). אמנים קיימים שווים משקל בין ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה ובhidrosferה אולם קצב המסת הפחמן הדו-חמצני בהידרוספירה איטי מקצת הצלברותו באטמוספירה בעקבות פעילות האדם. משום כך, ריכוז גז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה עולה מАЗ המהיפה התעשיתית. החצלברות זו גורמת לתופעה שכetta לשם **אפקט החממה**. מה פירושה?



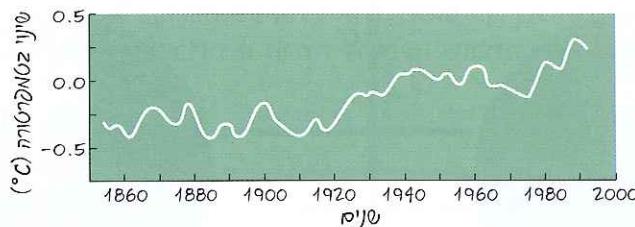
איור 11.8: מחזור הפחמן בטבע ופעולות האדם הגורמת לחוסר איזון של התהליכים הטבעיים. **חץ יוקים** - מעברי חומר הקשורים לבביסטריה, **חצים כחולים** - מעברי חומר הקשורים להיידרואספרה, **חצים חומים** - מעברי חומר הקשורים לגאוספרה, **חצים אדומים** - מעברי חומר הקשורים בפעולות האדם.

אור השמש החודר לאטמוספירה פוגע בפני כדור הארץ ומוחזר כקרניים של גלי אינפרה-אדומות. מולקולות של גזים שונים כגון דו-חמצני ומים הנמצאים באטמוספירה קולוטות חלק מן הקרןיה הזה וחין אפשרות לה לחזור לחלל. כתוצאה לכך האטמוספירה מתחממת וכך גם פני כדור הארץ. לעומת זאת טמפרטורת פני כדור הארץ הייקבת מפחית לאפס וואקזיטוים פין קופכים לגושי סבכת.

עליה קלה בכמות הפחמן הדו-חמצני באמצעות פירושה כליאת כמות רבה יותר של קרינה וכן התהממות האטמוספרה. במהלך 140 שנים של שריפת דלקים ריכוז גז הפחמן הדו-חמצני עלה באמצעות פירושה טמפרטורות כדור הארץ עלה ב- 0.5°C (איור 8.12). חישובים מראים כי המשך שריפת דלקים תגרום לעלייה של 4.5°C לפני קדום הארץ. חישובים אלו מhoeים אומדן בלבד.

השפעת העלייה בΡΙΚΟΖ הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה על מערכות כדור הארץ

איור 8.12 מציג את העלייה בטמפרטורת האטמוספירה של חצי הכדור הצפוני ב-140 השנים האחרונות. מרבית המדענים סוברים שעלייה זו נובעת מעלייה ברמת הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה. התchangמות האטמוספירה של כדור הארץ ואפיו בעמלות ספורות תגורות לשינויים בתת-מערכת האטמוספירה שיבילו לשינויים בתת-מערכת ההידרואספירה. השינויים באטמוספירה יתבטאו בעיקר בשינוי דגם הרוחות על פני כדור הארץ, אשר יוכל לשינוי בדגם ותפרוסת הגשמיים על פני כדור הארץ. כמוות הגשמיים הגלובליות שתרד על פני כדור הארץ יכול לא תשנהן, אולם הפיזור שלהם ועוצמתם ישתנו וכותזאה מכך, אמורים לחימם והפכו לצחיחים. תהיליך זה המכונה מידבר כבר מוגש באפריקה ובמרכז התיכון שם פוגעות עונות יבש ארוכות באופן קשה בביוספירה כולל האדם.



איור 8.12: עלייה של 0.5°C בטמפרטורת האטמוספירה של חצי הדור הצפוני ב-140 השנים האחרונות.

בהנחה שכמויות המשקעים היורדת על פני כדור הארץ היא קבועה, משמעות עצירת המשקעים באזורי מסוימים היא, שבאזורים אחרים על פני כדור הארץ כמוות משקעים רובה יותר. כמוות רובה של משקעים ובעיקר אם הם יורדים בעוצמה מוגילה לשיטפונות, האצת תהליכי בליה, סחיפה והובלה הגורמים לגילשות קרקע ורמי בו אימנתניים המכיסים כל דבר העומד בדרכם ויצרים סכנה סביבתית לעולם החי (כולל האדם).

שינויי משמעותיים נוספים כתוצאה מהעליה הקלה בטמפרטורת האטמוספירה הוא עליית מפלס פני הים, כתוצאה מהפזרת משטחי הקרקעים בקטבים ועלייה בנפח מי האוקיינוסים עקב התchangמותם. גם כאן ההשפעה הישירה הראשונית היא על ההידרואספירה אולם, כפי שכבר הבנו, כל תהיליך של הפרת איזון בתת-מערכת אחת גורם לתגובה שרשרת המשפיעה על שאר מערכות כדור הארץ. עלייה קלה של מטרים ספורים תוביל להצפת אזורי נרחבים על פני כדור הארץ במיוחד באזוריו החופיים שם מרוכזת מרבית אוכלוסיית העולם וכן איים מסוימים באוקיינוס השקט יעלמו מתחת לפני המים.

חקור הגיאולוגיה של כדור הארץ מלמד אותנו, כי היו כבר תקופות גיאולוגיות בהן השתנתה טמפרטורת כדור הארץ, כתוצאה מתחילכים טבעיים בלבד כגון התפרצויות געשיות מזאות שפלטו כמות גדולה של פחמן דו-חמצני וגזי חממה נוספים לאטמוספירה.

כנראה שהאדם אינו ה"אשם" היחיד בהתchangמות האטמוספירה של כדור הארץ ויתכן שמדובר בתהיליך טבעי. חשוב להבין שפעולות האדם בתחום ניצול משאבי כדור הארץ לצורכי אנרגיה באמצעות שריפת דלקים מאובנים מאייצה את התהיליך. ככל שתהיליך השני יהיה מהיר יותר כך יקשה לחלק מרכיבי הביוספירה (כולל האדם) להסתגל ולהתאים עצם לקצבו השני.

בשתי דוגמאות בהן עסקנו בפרק זה (מחזור הזרחן ומחזור הפחמן) רأינו, כי אף על פי שמערכות כדור הארץ הן עצומות, מסוגלת החברה הטכנולוגית בה אם חיים לערער את שיוי המשקל העדין הקיים בין מערכות כדור הארץ הן. הן ברמה מוקנית כמו בדוגמה של מחזור הזרחן והן ברמה העולמית (גלובלית) כמו בדוגמה של מחזור הפחמן. משום כך, מוחबתנו למזער עד כמה שניין את הנזק הכרוך בשימוש בחומרה כדור הארץ, כדי לאפשר את קיום המין האנושי גם בעתיד הרחוק יותר. בכך, שיכלתו הטכנולוגית של האדם מתקנה לו יכולת הסתגלות גבוהה יחסית לשינויים סביבתיים, אולם יחד עם זאת, לא בטוח עד איזה גודל וקצב של שינויים סביבתיים תוכל החברה האנושית לעמוד.

חשוב להבין שככל פגיעה במערכות כדור הארץ תהיה "זמןית" בלבד וטור מספר מיליון שנים (כפי שכבר קרה לאורר ההיסטוריה הגיאולוגית) ויחדו המערכות לאיזון. אולם, את ה"מחור" העיקרי תשלם מערכת הביספרה (כולל האדם). לא שיש חשש שייעלמו היצורים החיים מכדור הארץ, אולם כפי שכבר קרה מספר פעמים לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית, שינויים סביבתיים גדולים (קטסטרופות) גורמו להכחדה של מרבית עולם החיה על פני כדור הארץ והטו את האבולוציה של עולם החיה לכיוונים חדשים.

בפרק זה למדנו כי מחזור הסלעים הוא חלק מהמאגר המורכב והעדין של מעברי חומר בכדור הארץ. הסלעים הם אומנם חלק מהגיאוספירה אולם מחזור הסלעים משולב באופן חזק בשאר מערכות כדור הארץ: הhidrosferה, האטמוספירה וביספרה. בעצם לא רק מחזור הסלעים ומוחזר המים, כל מוחורי החומרים בכדור הארץ כגון, הפחמן, הזרחן, פוספט (המכונים מוחרים גיאוביוכימיים) שלובים זה זה.

קצב מעבר החומרים בכדור הארץ שונה ממערכת למערכת. קצב מחזור הסלעים בכדור הארץ הואائي ביותר והשלמת מחזור מלא מגמה למוגמה יכולה להמשך عشرות מיליון שנה. מחזור המים מהיר יותר ממחזור הסלעים, אך גם קצב תנועת המים בתוך הסלע הוא איטי מאד ומוחזר מלא יכול להמשך מאות אלפי ועד מיליון שנים. מוחוריים הקשורים לאטמוספירה הם המהירים ביותר עקב יכולת התנועה של גושי אויר על פני כדור הארץ ככל, והם נמדדים בקצב של שנים.

יחס הגומליין ההדוקים בין מערכות כדור הארץ גורמים לכך שככל הפרת איזון בתוך כל אחת מערכות כדור הארץ תיצור תגובה שרשרת המשיפה על כל שאר המערכות. כדור הארץ חוווה בעברו הגיאולוגי אירופים רבים של הפרת איזון בתוך ובין מערכות כדור הארץ הגדולים בהרבה מהפרת האיזון של הרכבת האטמוספירה ועלית הטמפרטורה אותה אנו חווים כנראה בתקופתנו. אולם, מערכות כדור הארץ שרדו את כל הקטסטרופות הגדלות ובמהלך זמן גיאולוגי של عشرות מיליון שנה חזרו לאיזון.

אומנם מרבית המינים שחוו על פני כדור הארץ נכחדו כתוצאה מהקטסטרופות הסביבתיות, אולם הביספרה כמערכת שרדה ובמקום המינים שנכחדו הוביל תהליך האבולוציה להופעת מינים חדשים. לאור זאת, חשוב להבין שלכדור הארץ אין כל בעיה סביבתית, כי שינויים סביבתיים יפגעו רק בחלק מהמערכת הביספרית ולא בכדור הארץ כמערכת על. כדור הארץ "דווג" לעצמו היטב ומחזיק מעמד כמערכת מזה מספר מיליון שנים. כל הנזקים הסביבתיים שגורם האדם כדור הארץ יעלמו ללא היי בתוך מערכות כדור הארץ.

מהחר והאדם הוא חלק מהביספרה, האם הוא המין שיישרוד את השינויים הסביבתיים?
אם תאבי חיים אוט לעילם לשמר על האיזון של מערכות כדור הארץ בעל בבט עיניהם. לא למען כדור הארץ, אלא **למענו.**

רשימת מקורות

- Almogy-Labin A. Bein A. and Sass E., *Late Cretaceous Upwelling System Along The Southern Tethys Margin (Israel)*, Paleoceanography, Vol. 8, No. 5, 1993 pp. 671-690.
- Clark I. F. Cook B. J., *Prespectives of the Earth*, Australian Academy of Science, Canberra 1983.
- Montgomery C. W., *Environmental Geology*, Brown Publishers, Third Edition, 1992.
- Press F. R. Siever W. H., *Understanding Earth*, Freeman and Company New York, Second Edition, 1998.
- Skinner B. J. Porter S. C., *The Dynamic Earth*, John Wiley and Sons, Inc., Third Edition, 1995.
- Webster D., *Understanding Geology*, Oliver and Bond, 1987.

אורין ב', מחזור הסלעים - חוברת פעילויות לתלמיד, המחלקה להוראת המדעים מכון ויצמן למדע, 1998.

בן-שלום ר', אורין ב', מבנה כדור הארץ ותאוריות הלוחות, מכון ויצמן למדע ומשרד החינוך, תשס"א.

גפן מ', יצחקי ג', **ספר הכרנת**, משרד הביטחון - ההוצאה לאור, תשנ"ב.

דאדיק ג', אורין ב', מהדינוזאורים ועד דרווין - אבולוציה במרחב הזמן, המחלקה להוראת המדעים מכון ויצמן למדע, רוחבות, 2000.

מור ד', **הgalן ארץ הרי געש**, אקדמאון, ירושלים, 1994.

ழוזר ע', **גיאולוגיה בפטיש ישראלי**, האוניברסיטה הפתוחה, תל-אביב 1994.

פוספטים בנגב, **לחם מן הסלע**, דימונה, 1986.

פלכסר ע', **גיאולוגיה יסודות ותהליכיים**, אקדמאון, ירושלים, תשנ"ב.

זה א', **ספר ים המלח**, רשות שמורות הטבע, 1993.