

6 גיל העולם

א. אלפים או אלף אלפי אלפים?

אפתח קודם כול בטענה שכדור הארץ אכן קצת יותר מבוגר מששת אלפי שנים. למעשה, גילו המוערך הוא 4.54 מיליארדי שנה.

כיצד מתיישב הדבר עם מקורותינו? דבר זה יידון בחלקו השני של הספר. לעת עתה, אני מרשה לעצמי לשוב ולצטט מדברי הראי"ה קוק ומדברי ה"ר גדליה נדל, שבדבריהם פתחתי ספר זה.

וכך כותב הראי"ה קוק (שמונה קבצים, אות תקצד):

להשוות סיפור מעשה בראשית עם החקירות האחרונות הוא דבר נכבד. אין מעצור לפרש פרשת אלה תולדות השמים והארץ, **שהיא מקפלת בקרבה עולמים של שנות מליונים**, עד שבא אדם לידי קצת הכרה שהוא נבדל כבר מכל בעה"ת, וע"י איזה חזיון נדמה לו שצריך הוא לקבע חיי משפחה בקביעות ואצילות רוח, ע"י יחוד אשה שתתקשר אליו יותר מאביו ואמו, בעלי המשפחה הטבעיים. התרדמה תוכל להיות חזיונית, **וגם היא תקפל איזה תקופה**, עד בישול הרעיון של עצם מעצמי ובשר מבשרי. והודיע הכתוב שקדושת המשפחה קדם להבושה הנימוסית בזמן, וכן במעלה...

ואילו ה"ר גדליה נדל כותב (בתורתו של ר' גדליה, עמ' צב):

גם לגבי קביעת גיל העולם אין סיבה לחשוב שהמדענים משקרים. ובאמת, גם הסברה הפשוטה נותנת כך... האמונה בבריאת העולם היא האמונה שהיתה התחלה. שהזמן התחיל פעם, אבל כמה זמן עבר מההתחלה - אין שום הבדל עקרוני בין מספר קטן לגדול. אלא מה, בתורה כתוב "ששת ימים"? - בשביל זה כתב הרמב"ם את ספרו, בשביל שתדע שאפשר לפרש ביטוי בתורה לא כהוראתו המילולית... אין אתה יכול, **ואסור לך, להשליך את השכל מאחורי גוך.**

וברצוני להתעכב מעט על הנקודה הזו, שרבים ממאנים לקבלה מתוך מחשבה שגויה שהיא סותרת את המקורות.

(ואגב כך ברצוני להעיר שתי הערות על מנין השנים היהודי: מנין השנים "לבריאת העולם" אינה מסורת יהודית קדומה. בתורה, בנביאים ובכתובים מעולם לא נמנו שנים "לבריאת העולם", וגם בימי חז"ל והגאונים מנו את השנים לפי "מנין השטרות", כלומר לשנת היווסדה של ממלכת סלווקוס בשנת 312 לפני הספירה. אשר לחשבון עצמו (שהוא כאמור חשבון שאינו מבוסס על מסורת חיה אלא על חישובים), רגליים לדבר שבכל הנוגע לימי בית שני הוא **אינו תואם להיסטוריה**, וכי חסרות בו כ־160-170 שנה, כפי שכבר נוכח לדעת רבי עזריה מן האדומים בספרו "מאור עיניים". כך או כך, לפי הדעות ששטת ימי המעשה אינם מבטאים ימים כפשוטם, נמצא שהמנין שאנו מונים בו אינו מונה את השנים מבריאת העולם, אלא מימיו של אדם אבי שת).

ב. ראיות לגיל העולם

מנין לנו באמת שהעולם קדום?

קיימות שיטות שונות לבדיקת גילו של העולם. העולם עבר במהלך מליארדי שנות קיומו תהפוכות רבות שהותירו את חותמן הברור על פני כדור הארץ. השיטות השונות בהן ניתן למדוד את גילו של העולם ואת גיל התופעות שאירעו בו מחזקות זו את זו ומתלכדות לכלל עדות אחת עקבית, ומאפשרות כוונן עדין ומדויק יותר של המדידה.

1. תיארוך רדיומטרי

בראש ובראשונה, נעשה שימוש ב**תיארוך רדיומטרי** ("תיארוך רדיואקטיבי"). הרעיון הכללי הוא כזה: בטבע קיימים חומרים רבים שהם רדיואקטיביים. חומרים אלה מתפרקים במהלך הזמן והופכים לחומרים אחרים [יש סוגים שונים של התפרקויות רדיואקטיביות, ובמהלכן נוסף או נגרע פרוטון (או מספר פרוטונים) מגרעין האטום והוא הופך בכך ליסוד אחר]. לחומרים רדיואקטיביים שונים יש קצב התפרקות שונה. קצב זה מבוטא על ידי **זמן מחצית החיים**. הכוונה בביטוי נאה זה, שבחלוף הזמן הנקוב כ"זמן מחצית החיים" של חומר רדיואקטיבי מסוים, תישאר ממנו מחצית הכמות שהיתה בתחילה.

ולדוגמא: אם בחומר מסוים היו בתחילה 1,200 אטומים רדיואקטיביים שזמן מחצית החיים שלהם הוא שעה, אזי בחלוף שעה נצפה למצוא רק 600 אטומים כאלה. כעבור שעה נוספת, נצפה למצוא 300 אטומים כאלה, ובחלוף שעה נוספת נצפה למצוא 150 אטומים כאלה, וכן הלאה.

קיימים עשרות חומרים רדיואקטיביים שונים, בעלי שיעור "זמן מחצית החיים" שנוע בין חלקיקי שניה לבין מיליארדי שנים.

הרעיון הוא למדוד את מספר האטומים הרדיואקטיביים שנמצאים בחומר המסוים שאנו בודקים, ולהשוות אותו עם הכמות שהיתה אמורה להיות בו בהתחלה. היחס בין כמות האטומים הרדיואקטיביים כיום לבין כמותם בנקודת ההתחלה, מאפשרת לנו לדעת כמה זמן חלף מנקודת ההתחלה.

כמובן, לצורך המדידה עלינו לדעת מהו היחס הראשוני של החומר הרדיואקטיבי אותו אנו מודדים, וכמו כן עלינו לוודא שהחומר הנמדד אינו מושפע מגורמים שונים, כמו טמפרטורה, מגנטיות וחשמל ותהליכים כימיים. לכן לא כל חומר רדיואקטיבי יכול לשמש לצורך מדידה. נוסף על כך, החומר הרדיואקטיבי צריך להיות מותאם לסדר הגודל של הזמן שאנו מתכוונים למדוד. לא ניתן למדוד מרחק של עשרות שנים באמצעות חומר שמחצית החיים שלו היא מיליארד שנה, ולא ניתן למדוד מרחק של מיליארד שנה בחומר שמתפרק לחלוטין כעבור שניות אחדות. אולם למרות מגבלות אלה קיימים לא מעט חומרים המאפשרים מדידה רדיומטרית.

לצורך בדיקות גיאולוגיות נעשה בדרך כלל שימוש בבדיקת אשלגן-ארגון. והסיפור הוא כדלהלן:

מרבית סלעי היסוד (כלומר, סלעים שנוצרו ישירות מהמגמה, שהיא החומר הסלעי המותך שמתחת לפני הקרקע), מכילים את היסוד אשלגן. שיעור קטן מהאשלגן בטבע (0.0117% מכלל האשלגן) הוא האיזוטופ הרדיואקטיבי ^{40}K (אשלגן 40). כלומר, גירסא של אשלגן עם 19 פרוטונים ו-21 נייטרונים, במקום הגירסא הנפוצה שהיא בעלת 19 פרוטונים ו-20 נייטרונים). איזוטופ רדיואקטיבי זה מתפרק בשתי דרכים: באחת מהן, נוצר החומר סידן ^{40}Ca , ואילו בשניה נוצר החומר ארגון 40. ההתפרקות לארגון מתרחשת ב-10.72% מן המקרים, ואילו זמן מחצית החיים של ההתפרקות הזו עומד על 1.27 מיליארד שנה. כל זמן שהמגמה המותכת

נמצאת מתחת לפני הקרקע, כל חלקיקי הארגון 40, שהוא גז, מבעבעים ועושים את דרכם החוצה. אולם, משעה שהמגמה פורצת אל פני השטח (כגון בהתפרצות של הר געש) והופכת לסלע מוצק, כל הארגון 40 שנוצר בסלע נותר כלוא בו.

כיצד מבצעים את הבדיקה? (בקווים כלליים, כדי שלא תתפתו לנסות את זה בבית): המודד נוטל סלע ומחשב את כמות האשלגן אשר בתוכו. אזי, המודד מתיך את הסלע ומשחרר את גז הארגון הכלוא בו. גז הארגון מבודד ונמדד. כעת מחושב היחס בין כמות הארגון שנמצאה לבין כמות האיזוטופ הרדיואקטיבי של האשלגן (^{40}K), וכך ניתן לדעת לפני כמה זמן החל תהליך ההתפרקות של ^{40}K והפיכתו לארגון. כלומר, מתי בקעה המגמה מתחת לפני השטח ויצרה את הסלע.

הסלעים הקדומים ביותר שתוארכו על פני כדור הארץ (בינתיים) הם מקוויבק, קנדה, והם תוארכו כבני 4.28 מליארד שנה (בשיטת תיארוך אחרת המתאימה במיוחד לפרקי זמן ארוכים שכאלה: סמרים-ניאודימיום). אין הכוונה בכך שקודם לכן לא נוצרו סלעים, כמובן, אלא שהסלעים שנוצרו קודם לכן עברו תהליכי בלייה וריסוק ואינם נמצאים עוד על פני השטח.

2. תיארוך קרקע האוקיינוס ופליאומגנטיות

בהתחשב בתהליכי הבליה להם נחשף סלע שעל פני היבשה, היינו מצפים למצוא את הסלעים העתיקים ביותר על קרקעית הים, מקום בו הם שמורים יחסית מפגעי מזג האוויר. אולם למרבה הפלא דווקא קרקעית פני הים צעירה בהרבה מסלעי היבשה, והסלעים העתיקים ביותר על פני קרקעית הים הם כבני מאתיים מליון שנה "בלבד".

הסיבה לכך נעוצה בתהליך מעניין המתרחש במעמקי הים, ומאחר והוא קשור גם לנושא תיארוך הקרקע וגם לנושא אחר השופך אור על תורת האבולוציה, אתאר אותו:

מתברר שבמעמקי האוקיינוס האטלנטי יש רכסי הרים היוצרים את שרשרת ההרים הארוכה בעולם - 80,000 ק"מ אורכה (!). רכסים אלה נוצרים כתוצאה מפעילות געשית וזרימת מגמה (סלע מותך) לאורך ציר הרכס. הסיבה לפעילות הגעשית הזו נעוצה בכך שהמעטפת החיצונית של כדור הארץ, הליתוספירה, שבורה, ועשויה מכמה לוחות עצומים המשתרעים מתחת ליבשות ולקרקע

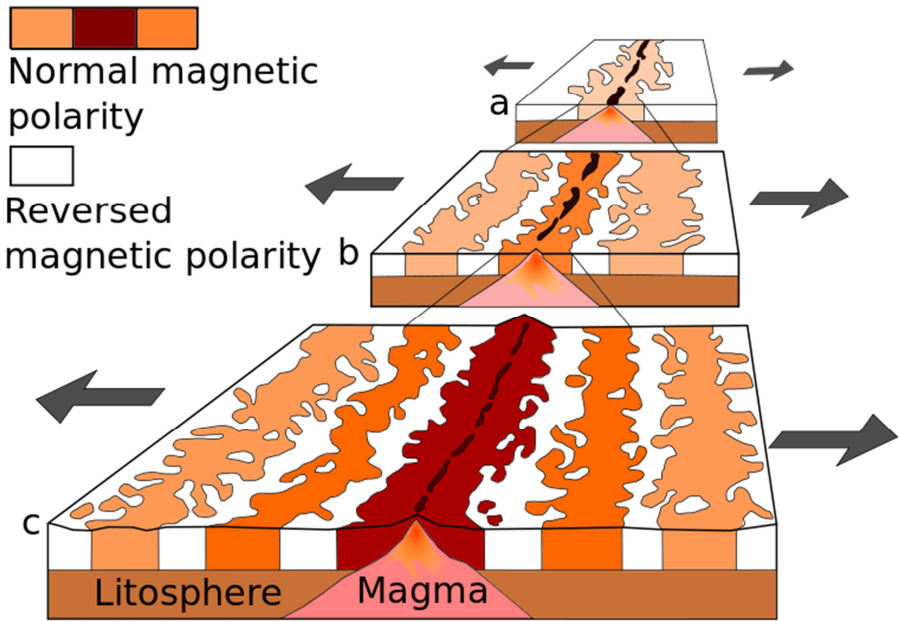
האוקיינוס. במקום המפגש בין שני לוחות, יש מקום לסלע המותך (המגמה) לעלות אל פני השטח. הסלע המותך עולה, מתקרר ויוצר רכס. כאשר עולה עוד מגמה, היא דוחקת את הסלע הקיים ממקומו לכאן ולכאן.

התוצאה היא שבמקום המפגש בין הלוחות, במעמקי האוקיינוס, נמצא רכסי הרים העשויים סלע "טרי", ואילו ככל שנתרחק מהרכס לכיוון היבשות כן נמצא סלעים יותר ויותר זקנים.

מעבר לבדיקה רדיומטרית של סלעים אלה, שמגלה לנו את הגיל ההולך ומזדקן של הסלע ככל שאנו מתרחקים מהרכס, צופנת לנו תופעה זו הפתעה מעניינת מתחום המגנטיות.

בדיקות מגנטיות על קרקעית האוקיינוס גילו תופעה מעניינת: קרקעית האוקיינוס מגלה דפוס של רצועות חוזרות ונשנות (שוב "זברה") בעלות קיטוב מגנטי הפוך! למה הכוונה? ובכן, אנו יודעים שלכדור הארץ יש שדה מגנטי, בעל קוטב צפוני וקוטב דרומי. אמנם, הכיוון והעוצמה המגנטיים אינם קבועים. ממצאים מעידים על כך שהקטבים המגנטיים של כדור הארץ התחלפו כמה פעמים - מצפון לדרום (כלומר, "הקוטב הצפוני" של השדה המגנטי של כדור הארץ, שכיום הוא בצפון, היה בזמנים שונים בדרום, ואילו "הקוטב הדרומי" היה בצפון). שינויים אלה מוצאים את חותמם בסלעים. הכיצד? בסלעים רבים יש קורטוב של מינרלים מגנטיים. כל עוד הסלע הוא במצב מותך, "מסתדרים" מינרלים אלה בהתאם לשדה המגנטי של כדור הארץ. בשעה שהמגמה המותכת מתקררת והופכת לסלע, מתקבע כיוונו של מינרלים אלה, והם מעידים לנצח על כיוונו של השדה המגנטי שהיה באותה העת בה הפכו לסלע מוצק. מה שקורה בקרקעית האוקיינוס הוא, שמאחר וקרקעית האוקיינוס פורסת בפנינו היסטוריה של מאתיים מיליון שנה, החל בסלעים החדשים ביותר הנמצאים ברכס וכלה בישינים ביותר הנמצאים בשפת היבשה, ומאחר ובאותם מאתיים מיליון שנים התהפך השדה המגנטי של כדור הארץ כמה פעמים, אנו מוצאים את העקבות האלה בדמות רצועות קרקע המשקפות שדה מגנטי מסוים, ואשר לפניהן ואחריהן יש רצועות המשקפות שדה הפוך (שהרי הרצועות שלפני ואחרי, נוצרו בתקופה שונה, בה השדה המגנטי היה הפוך). כמוכן, הסלעים שברכס, שהם החדשים ביותר, משקפים את המצב הקיים כיום. התבנית הזו של הרצועות נכונה **משני** צדדי הרכס, ומצביעה על כך שקצב ההתפשטות של קרקע האוקיינוס הוא אחיד לשני הכיוונים.

יש לנו כאן שילוב נאה של תיארוכים רדיומטריים עם טכניקות של הפליאומגנטיות.



a - לפני כחמשה מיליוני שנה. b - לפני שניים/שלושה מיליוני שנה. c - הווה

התפשטות קרקע האוקיינוס

מגמה פורצת החוצה והופכת לקרום סלעי חדש, בו בזמן שהקרום הישן יותר נדחק לצדדים. השטחים הצבעוניים נוצרו בתקופות שהמגנטיות היתה כמו בימינו, ואילו השטחים הלבנים נוצרו בתקופות שהמגנטיות היתה הפוכה.

3. טקטוניקת הלוחות ו"נדידת היבשות"

ציינתי לעיל שמלבד נושא התיארוך, נודעת משמעות נוספת להתפשטות קרקע האוקיינוס, ועל כך להלן.

ייתכן והקורא שאל את עצמו: אם כל הזמן נוצרת קרקע חדשה באוקיינוס, והקרקע הישנה נדחפת לכיוון היבשות, לאן נעלמת כל הקרקע הישנה? הרי בסופו של דבר היא מתנגשת ביבשה ואינה יכולה להמשיך להידחק לעד?

ובכן, אנו מגיעים כאן לאחת התגליות הגדולות של המאה הקודמת: טקטוניקת הלוחות.

ראשיתה של תגלית זו היא בתהייה מדוע זה דומה כל כך החוף המערבי של אפריקה לחוף המזרחי של אמריקה הדרומית? המעיין במפה יווכח לראות שהן נראות כמו שתי פיסות בתצרך ("פאזל"). אולם זו אינה השאלה העיקרית. השאלה המעניינת יותר היא: מדוע דומה כל כך המבנה הגיאולוגי, שכבות האדמה וסוגי הסלעים - בשני החופים הללו. מדוע אנו מגלים אותם סוגי מאובנים - בשני המקומות הללו דווקא. והדבר אינו מסתיים בסיפורם של אפריקה ואמריקה הדרומית. דמיון כזה אנו מוצאים גם בין אוסטרליה, הודו ודרום אפריקה. אפילו באנטארקטיקה הקפואה תדיר, המקום הכי קר על פני כדור הארץ בימינו, אנו מוצאים מאובנים של צמחים ובעלי חיים (של אזורים חמים!) אשר דוגמתם אנו מוצאים באוסטרליה ודרום אמריקה דווקא.

מה פשר הדבר?

ובכן, התשובה לכל זה נעוצה בתנועת הלוחות הטקטוניים. ציינתי לעיל שמעטפת כדור הארץ - הליתוספירה - שבורה, ועשויה לוחות לוחות, אשר הם הבסיס שמתחת ליבשות ולקרקע האוקיינוס. לוחות אלה "צפים" ונעים על פני האסתנוספירה הצמיגית (היא השכבה שמתחת לליתוספירה). ותנועתם זו מגדילה את שטחו של האוקיינוס האטלנטי, ומרחיקה את יבשת אמריקה מאירופה ואפריקה.

רעיון זה הוצע בתחילה לפני כמאה שנה, על ידי החוקר הגרמני אלפרד וגנר (Alfred Lothar Wegener), אלא שהוא סבר שהיבשות עצמן נעות. חלפו עשרות שנים עד שהצטברו הראיות וההבנה שלא היבשות עצמן זזות כי אם הלוחות שמתחתיהן הם אלו שזזים ונושאים עמם את היבשות.

כיום אין זו "תיאוריה" אלא עובדה תצפיתית, הנמדדת באמצעות לווייני מערכת האיכון העולמית (GPS).⁵⁰ מבדיקה זו עולה כי הלוחות אינם נעים בקצב זהה, ולא באותו הכיוון. קצב תנועתם נע בין שש עשירות הסנטימטר לעשרה סנטימטרים בשנה.⁵¹

הלחצים והמתחים הנגרמים בין הלוחות השונים בעקבות תנועות אלה, גורמים בין השאר להתפרצויות הרי געש, להתרוממות רכסי הרים ולרעידות אדמה. [רעידת האדמה האיומה שפקדה את יפן במרץ 2011, הזיזה את האי הגדול ביפן (הונשו, Honshu) למרחק 2.4 מטרים מזרחה].⁵²

ההסבר לשלל התופעות שציינתי לעיל (ולתופעות רבות שלא ציינתי) נעוץ בכך שבעבר הרחוק, לפי המחקר מדובר בתקופה שלפני מאתיים מיליון שנה, היו כל היבשות מחוברות לכלל יבשת אחת גדולה, המכונה "פנגיאה".⁵³ לפני כמאתיים מיליון שנה קרעה תנועת הלוחות את יבשת העל הזו לשתי יבשות עיקריות: לאורסיה (שכללה את אמריקה הצפונית, אירופה ואסיה - למעט הודו), וגונדוונה (שכללה את אמריקה הדרומית, אפריקה, אוסטרליה, אנטארקטיקה והודו). לפני כ-140 מיליון שנה אירע פיצול בין אמריקה הצפונית לבין ארוסיה, ונוצר האוקיינוס האטלנטי, ואילו לפני כ-65 מיליון שנה התפצלה גונדוונה לחמשת החלקים שמנתי.

החיבור בין עשרות מיליוני השנים בין היבשות השונות מסביר מדוע אנו מוצאים אותם מאובני חי וצומח באזורים שהיו מחוברים בעבר הרחוק, ומדוע התצורות הגיאולוגיות של נקודות המפגש זהות זו לזו.

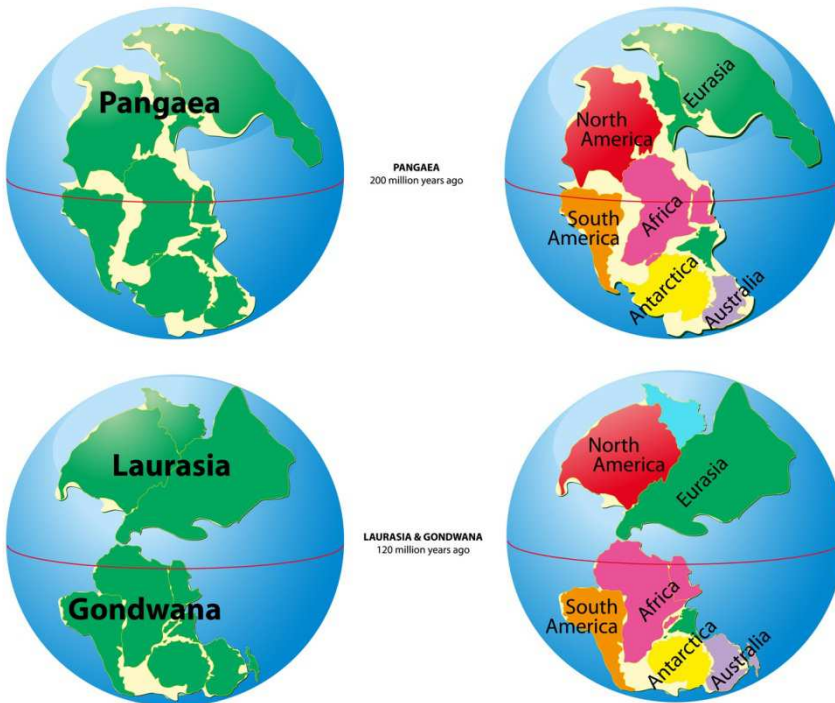
50 המכון הטכנולוגי של קליפורניה, ג'פיאס.

51 אלרט, מהירות הלוחות היבשתיים.

52 דויטשה וולה, רעידת אדמה ביפן.

53 Pangaea. המונח נטבע בשנת 1927 ומשמעו ביונית: כל האדמה. פנגיאה לא משקפת בהכרח את המצב הראשוני בעולמנו. החוקרים סבורים שלפני כמיליארד שנה היתה יבשת-על אותה הם מכנים "רודיניה", והיא התפצלה לפני כ-750 מיליון שנה. אחרי כן היתה יבשת-על המכונה "פנוטיה", אשר נוצרה לפני כ-600 מיליון שנה והתפצלה כעבור חמישים מיליון שנה.

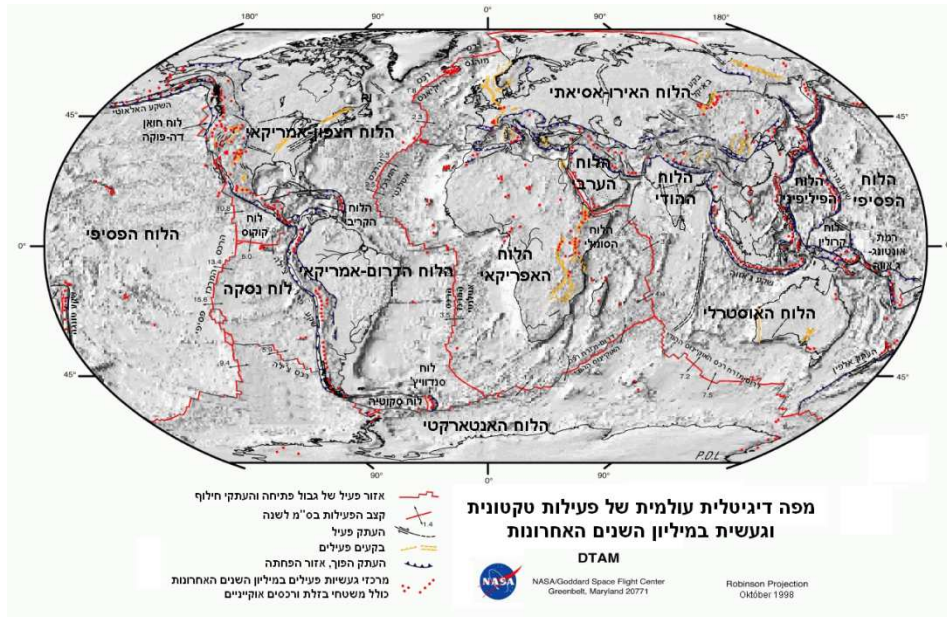
תורה ומדע



פנגיאה, גונדוונה ולאורסיה

המפה העליונה מציגה את פנגיאה: יבשת העל היחידה. מטעמי נוחות שורטטו גבולות היבשות כפי שאנו מכירים אותן כיום. המשולש הירוק ה"תקוע" בין אפריקה לאנטארקטיקה הוא תת-יבשת ההודית, שהתחברה מאוחר יותר ליבשת אסיה בתהליך שהרים את רכסי ההימלאיה ורכסים נוספים. תהליך זה נמשך עדיין בימינו והוא תורם להגבהת רכס ההימלאיה במחצית הסנטימטר בשנה ולרעידות אדמה. במפה התחתונה: היבשות לאורסיה וגונדוונה. באותו זמן, אמריקה הצפונית נתלשת ומתרחקת מאמריקה הדרומית, ואילו זו מחוברת לאפריקה כשתי פיסות תצריף.

גיל העולם



סימני הגרירה של הקרחונים

עדות מעניינת לחיבור הקדום של היבשות ניתן למצוא בין השאר בסימני השחיקה והגרירה שהותירו קרחונים שהחליקו להם על פני יבשות אלה. כאשר בוחנים סימנים אלה כיום, מוצאים כי כיוון גלישת הקרחון הוא מהים לעבר היבשה, דבר שלא ייתכן. אולם כאשר מחברים בחזרה את פיסות הפאזל - היבשות - כפי שהיו בעבר, מגלים שהקרחונים גלשו להם ממרכז אנטארקטיקה לצדדים, כאשר הצדדים הללו כללו כמובן גם את אפריקה ואמריקה הדרומית.

מגנטיות בשירות שחזור מצב היבשות

יתר על כן, היבשות המחוברות הללו לא היו בדיוק במקום שהם היום. מצבן המשוער של היבשות ניתן לשחזור בין השאר תודות לפליאומגנטיות שהזכרתי לעיל. כפי שציגתי, הסלעים מעידים על כיוון השדה המגנטי שהיה בתקופה שהם

נוצרו. מאחר והיבשות נעו ולא היו במקום שהן נמצאות בו כיום, בדיקת סלעים שלפני מאות מליוני שנים מראה מגנטיות שמשקפת את מצבן של היבשות בעבר הרחוק, מגנטיות שלא מתאימה למצב הנוכחי של היבשות. אחרי שמחשבים ומקזזים את השפעת ההיפוכים המגנטיים שכדור הארץ עבר, ניתן לחשב ולשער היכן היו היבשות השונות בשעה שהסלעים הנבדקים נוצרו.

מיקום מאובנים ומחצבים

אגב, תזוזת היבשות הזו היא הסיבה לכך שאנו יכולים למצוא באנטארקטיקה ובצפון קנדה מאובנים של חי וצומח המתאימים לאזורים חמים ולא לאזורי הקטבים הקפואים, שכן לא תמיד היו היבשות הללו היכן שהן כעת.

תזוזת היבשות היא גם הסיבה לכך שמצבורי הפחם נמצאים בעיקר באותם אזורים שהיו בעבר גדות האוקיינוס - ימים רדודים, שכן הפחם נוצר משרידים של צמחים ששקעו לקרקעית הים ועברו במשך מאות מיליוני שנים תהליכים שהפכו אותם לפחם. מצבורי הנפט והגז הנוצרים משרידים של חיים ימיים, נמצאים בעיקר באזורים שהיו עמוקים יותר.

(סרטונים המציגים שחזור של היבשת פנגיאה ותהליך היפרדות היבשות, וכן סרטונים המראים כיצד צפוי להיראות עולמנו בעוד מליוני שנים, זמינים ברשת האינטרנט).⁵⁴

מאחר וכבר דיברנו על תמורות במעמקי ים, אציין מאורע שקשור לים הקרוב לארצנו וללבנו והמדגים כיצד פני נוף עשויים להשתנות לבלי הכר:

4. התייבשות הים התיכון

אירוע מעניין מאזורנו הוא התייבשות הים התיכון לפני כ־5.96 מליוני שנה ("האירוע המסיני").⁵⁵ עדויות שונות מעידות על כך שבאותה התקופה נחסם מיצר גיברלטר

54 ראה לדוגמא: <http://www.scotese.com>. ראה גם: <http://www.ods.de/ods/services/paleomap/paleomap.html>.

המחבר בין הים התיכון לאוקיינוס האטלנטי. כתוצאה מכך החל הים התיכון להתייבש ונותרו בו רק כמה אגמים מלוחים.

בקרקעית הים התיכון, בעומק של קילומטרים, ניתן לאתר את החופים של אותם אגמים עתיקים. ניתן גם לאתר קניונים בגובה קילומטרים, שנחצבו בידי נהרות קדומים בים התיכון המתייבש, וכמו כן נמצאו בקרקעית הים סדקים מאובנים שנוצרו בקרקעית כתוצאה מיובש. קידוחים בקרקע הים התיכון גילו סלעי משקע עשויים מלח בישול ומינרלים אחרים המעידים על כך שהים התייבש. יתר על כן, נמצאו שכבות מאובנים ימיים ושכבות מלח לסירוגין, מה שמעיד על כך שהים התייבש והוצף חליפות במשך קרוב ל-700,000 שנה.

גם הים התיכון מעיד אפוא על גילו של העולם: בין אם נקבל את התיארוך כמדויק ובין אם לאו, הראיות שהים התייבש מדברות בעד עצמן. כך או כך, על מנת שים בסדר גודל כזה יתייבש, נחוצים יותר מכמה אלפי שנים (ובכל מקרה, אירוע זה לא אירע באלפי השנים האחרונות, בהן הים התיכון מוכר וידוע כים פעיל).

5. שוניות אלמוגים וסטרומטוליטים: היממה המתארכת והולכת

אחת ההוכחות האלגנטיות לעתיקותו של העולם נובעת משילוב בין עולם האלמוגים לבין התארכותה של היממה.

אפתח בעניין התארכות היממה: כולנו יודעים שיש 24 שעות ביממה, ו-365 יממות בשנה. היממה נקבעת כמובן לפי משך סיבוב כדור הארץ על צירו. אולם, מסתבר שאין הדבר פשוט כל כך, שכן מהירות סיבובו של כדור הארץ אינה קבועה, והיא מושפעת ממגוון גורמים, כגון כוחות הגאות של הירח הגורמים להאטה של כאלפית השניה ביממה. בטווח הקצר, ההשפעה המצטברת של גאות הירח והגורמים הנוספים עשויה להצטבר לכמה שניות בשנה לכאן או לכאן, וביום האחרון בשנה (ולעתים גם באמצע השנה) מתבצע "תיקון" - הוספה או גריעה של שניות מ"הזמן האוניברסלי המתואם"⁵⁶, על מנת לפצות על ההפרשים הללו. בטווח הארוך, גורמת האטה הסיבוב להתארכות היממה בשיעור של שתי שניות בפרק זמן

Messinian Salinity Crisis (MSC) 55
Coordinated Universal Time (UTC) 56

של 100,000 שנה. מאחר ותנועת כדור הארץ מסביב לשמש אינה מושפעת מתופעה זו, ולכן מספר השניות בשנה הוא קבוע, משמעות הדבר היא שבעתיד הרחוק (מאד) יהיו פחות יממות בשנה. (לדוגמא: בעוד 360 מליוני שנים, יתוספו 7,200 שניות ליממה, במילים אחרות: היממה תהיה בת 26 שעות, ולא 24. היות ובשנה שלמה יש כ־8,765 שעות, אזי אם נחלק אותן ביממות של 26 שעות נקבל שנה בת 337 יום, הקצרה ב־28 יום מהשנה בימינו). משמעות נוספת היא, שאם נשוב לעבר הרחוק (מאד), נגלה שהיממה היתה קצרה יותר, וממילא נגלה ששנה מנתה **יותר** מ־365 יממות. (לפי הדוגמא שלעיל, לפני 360 מליוני שנה, היתה היממה קצרה בשעתיים, ומנתה 22 שעות, וממילא השנה ארכה 398 יום!).

כיצד כל זה קשור לאלמוגים?

ובכן, כולנו מכירים את טבעות העצים: מידי שנה נוספת לעץ טבעת גדילה אחת. גם באלמוגים יש טבעות גדילה, אלא שבניגוד לעצים, לאלמוגים יש גם טבעות המשקפות את מספר השנים שחלפו על האלמוג, וגם טבעות יומיות, המשקפות את מספר הימים שחלפו עליו.⁵⁷ היות והאלמוג מתעד הן את הימים והן את השנים, אנו יכולים למנות את מספר הימים שיש בכל שנה משנותיו של האלמוג, ולדעת כמה ימים היו באותן שנים בהן האלמוג חי.

לפיכך, לו נבדוק אלמוג שחי לפני מאות מליוני שנים נצפה לגלות שבאותן השנים היה מספר הימים רב יותר מאשר 365.

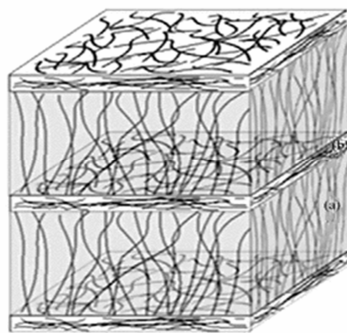
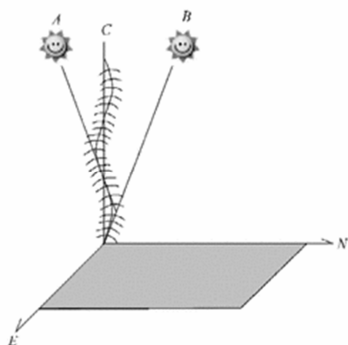
ואכן, חוקרים בדקו אלמוגים מאובנים שונים אשר גילם (לפי התיארוך הרדיומטרי) נע בין 180 עד 400 מליון שנה, וגילו, בהתאם לניבוי, שמספר הימים בשנה שהיתה בתקופת חייהם של אלמוגים אלה היה גבוה ממספר הימים כיום: החל ב־381 יום בשנה בקרב האלמוגים ה"צעירים" יותר, וכלה ב־410 יום בשנה בקרב האלמוגים העתיקים יותר.⁵⁸

אלמוגים אינם תופעת הטבע היחידה המאפשרת בדיקות מסוג זה. תופעה נוספת (אך לא יחידה) היא הסטרומטוליטים (Stromatolite). סטרומטוליטים הם תצורות של משקעים הנוצרים בעקבות פעילות של מיקרואורגניזמים (בעיקר

57 הטבעות נוצרות בעקבות גדילה איטית בלילה לעומת גדילה מהירה באור יום. (גולד, בוהן הפנדה, עמ' 302).

58 אייכר, זמן גיאולוגי.

"אצות כחוליות") ומינרלים. במשך היום צומחות האצות לכיוון השמש, ובמשך הלילה הן צומחות בצורה אופקית, ובכך הן מתעדות את הימים שחלפו עליהן. נוסף על כך, בעקבות מיקומה השונה של השמש במהלך עונות השנה, הגורם לכך שהאצות יצמחו בכל עונה לכיוון אחר, נוצר מבנה דמוי האות S מידי שנה בשנה. (גם את השפעת הירח - קרי, החודשים - ניתן למצוא במשקעים אלה). ממחקר שנערך על סטרומטוליט בסין, עולה שלפני כמיליארד שנה, בעת שסטרומטוליט זה נוצר, מנתה השנה כ-516 יום (פלוס מינוס 20), כאשר כל חודש מנה 40 יום, ובכל יום היו כ-17 שעות.⁵⁹



סטרומוטוליט (© Qu Yuangao 2004)

הפרוסות העבות משקפות את הצמיחה המואצת מיקומה המשתנה של השמש בעונות השנה והאנכית במשך היום, והפרוסות הדקות משקפות משפיע על כיוון הצמיחה: לכיוון דרום או לכיוון צפון, וגורם לצמיחה בצורת האות S.



סטרומטוליט (© Didier Descouens)

איני חש צורך להמשיך בראיות נוספות, כי נדמה לי שהראיות מדברות בעד עצמן. עם זאת, אסיים בתיאור הבדיקה הרדיומטרית באמצעות פחמן-14, שהיא אחת הבדיקות השימושיות והידועות.

6. פחמן-14 ודנדרוכרונולוגיה

הפחמן הוא כידוע מרכיב הקיים בכל חי וצומח. רוב הפחמן בעולמנו הוא "פחמן-12", זאת אומרת, פחמן שהאטום שלו מורכב מ-6 פרוטונים ו-6 נייטרונים. אולם, טריליונית מן הפחמן הוא החומר הרדיואקטיבי פחמן-14 (שבאטום שלו יש 8 נייטרונים במקום 6). כלומר, על כל מיליון מיליוני אטומים של פחמן-12, יש אטום אחד של פחמן-14. פחמן-14 אינו יציב, והוא מתפרק לחנקן-14. מאחר והצומח קולט פחמן מהאוויר ובונה ממנו את גופו, ומאחר והחי ניזון בסופו של דבר מהצומח, היחס בין פחמן-12 לפחמן-14 בבעלי החיים ובצומח שווה ליחס בין שני חומרים אלה באוויר. כלומר, הן בחי והן בצומח אנו נמצא אטום אחד של פחמן-14 על כל טריליון אטומים של פחמן-12.

אולם, דבר זה משתנה כאשר הצמח או בעל החיים מת, ומפסיק לקלוט פחמן נוסף. משעה זו ואילך, פוחתת והולכת כמותו של פחמן-14 בגופו של הצמח או בעל החיים ככל שהוא מתפרק והופך לחנקן-14.

זמן מחצית החיים של פחמן-14 הוא "קצר" יחסית: 5,730 שנה. זאת אומרת שאם אנו בודקים שרידים של בעל חיים או צמח ומוצאים רק מחצית מהכמות המצויה באויר, הרי שעברו 5,730 שנה מאז מת בעל החיים או הצמח ההוא. אם אנו מוצאים רק רבע מהחומר, הרי שעברו כ-11,460 שנה וכן הלאה.

בדיקה זו מבוססת על ההנחה שריכוז פחמן-14 באויר הוא קבוע. על מנת להגיע לרמת דיוק גבוהה במיוחד, ולהמנע מסטייה שעשויה להיגרם כתוצאה מרמות שונות במעט של פחמן-14 בתקופות שונות, נעזרים ב"עקומות כיול" המבוססות על תיארוכים בשיטות אחרות, והשוואת תיארוכים אלה לתיארוך באמצעות פחמן-14.

אחת השיטות המעניינות והמדויקות לתיארוך בטווח של אלפי שנים, היא באמצעות הדנדרוכרונולוגיה (Dendrochronology): תיארוך על פי טבעות עצים. כידוע, ניתן לעמוד על גילו של עץ על פי מספר טבעותיו: כל טבעת משקפת שנה. הטבעות אינן אחידות בעוביין והן מושפעות מכמות המשקעים ומתנאים נוספים אליהם חשוף העץ. עצים מאותו המין הצומחים באותה סביבה גיאוגרפית ישקפו דפוס דומה של טבעות. באמצעות השוואת דפוסי טבעות חופפים של עצים חיים ועצים מתים, הצליחו החוקרים לבנות כרונולוגיה בת 11,000 שנה ברמת דיוק של

שנה אחת. (אגב, העץ החי הזקן ביותר שהתגלה בינתיים הוא עץ מסוג "אשוחית נורווגית", שגילו כ-9,550 שנה (!) והעונה לשם "Old Tjikko".⁶⁰ בארה"ב חי לו עדיין עץ שגילו כ-4,800 שנה, ואשר נושא את השם "מתושלח" בגלל שנבט בערך בזמן שמתושלח נולד. בשנת 1964 נכרת בארה"ב עץ עתיק יותר, שהיה אז בן 4,844 שנה).

תיארוך על פי עצים הוכן באופן עצמאי בהתבסס על כמה סוגים של עצים באירופה ובארצות הברית, ותוצאות הבדיקות השונות מאוששות אלה את אלה, כמו גם את בדיקת פחמן-14, ושיטות שונות אלה מביאות לאותה התוצאה.

בהתבסס על הדנדרכרונולוגיה ועל תיארוך באמצעות משקעים ימיים, יש כיום עקומת כיוול (לצורך דיוק מירבי בנתונים) עד ל-26,000 שנה לפני זמננו.⁶¹



טבעות מספרות (© Stefan Kuhn, 2004)

דוגמית המאפשרת הערכת גילם של עצים מלפני שלוש מאות שנה. שימו לב לטבעות הצרות בסביבת שנת 1695 ושנת 1709.

60 אוניברסיטת אומאה, העץ החי הזקן ביותר. גזע העץ הוא בן כמה מאות שנים, אולם מערכת השורשים החיה שלו היא כמעט בת עשרת אלפים שנה, והיא מצמיחה גזע חדש כאשר הגזע הנוכחי מת. החוקרים מצאו עוד כעשרים עצים בסביבה שגילם מעל 8,000 שנה.
61 ריימר וחב', כיוול.

ג. סיכום

העבר המופלג של כדור הארץ חקוק בו וביצוריו בדרכים רבות נוספות, בין העבר ה"קרוב" בן עשרות אלפי השנים, ובין העבר הרחוק הנמדד במאות מיליוני שנים ובמילארדי שנים. העבר הארוך בא לידי ביטוי בהתפרקות עשרות חומרים רדיואקטיביים שונים, בתצורות הנוף, בנדידת היבשות, במגנטיות, בקצב השינויים הגנטיים ועוד כהנה תופעות שלא הועלו כאן על הכתב. על כל צעד ושעל אנו מוצאים עוד ועוד ראיות עצמאיות אשר רק מחזקות ומאשררות את מה שידוע מתחומי מחקר אחרים. ה"סתירה" מכתבי הקודש היא סתירה מדומה. אורכו המופלג של הזמן מסביר אינספור תופעות בעולמנו אשר בהינתן זמן מספיק הן הופכות להיות אפשריות ואף מחויבות המציאות. יתר על כן, גילו המופלג של העולם מחייב גישה אחרת לשאלת ההסתברות שמאורע מסוים יקרה. כאמור, אם יש מאורע שהסיכוי שלו לקרות הוא "אחד למיליון", הרי שההסתברות שמאורע זה אכן יקרה בעולם שגילו נמדד ב**אלפי** מיליונים אינה כה קטנה. הסיכוי להאמין בכך אינו אלא מכשול פסיכולוגי הנובע מהיצמדות לתמונת העולם שהיינו רגילים לה מילדותנו.

עוד הערה לסיום נושא זה: בעבר הרבו לנופף במבול כמאורע שהפך סדרי בראשית ואשר בגללו לא ניתן להסתמך על תיארוך שמעבר לתקופת המבול. אני מקווה שאיני צריך להסביר שטענה זו משוללת כל בסיס לאור הנתונים שהבאתי בפרק זה, אבל על מנת לצאת ידי חובה אזכיר ששיטות התיארוך שמשמשות בהם הן שיטות שנבדקו ושאין מושפעות מתנאים קיצוניים בהרבה ממבול, ולו גם ממבול של רותחים. התיארוך הדנדרוכרונולוגי (טבעות העצים) מאפשר, כאמור, כיול מדויק של בדיקת פחמן-14 אלפי שנים לפני המבול (שאירע בסך הכול לפני כארבעת אלפים שנה, ואשר לא הותיר את חותמו אפילו על העצים העתיקים החיים מלפני המבול ועד ימינו). יתר על כן, מגוון ה**שיטות השונות** לתיארוך, המתבסס על **סוגים שונים** של בדיקה (כגון תיארוך על פי אלמוגים וסטרומטוליטים) ומגוון הבדיקות הרדיומטריות השונות שניתן לבצע ואשר מגיעות לאותה התוצאה, שם לאל את טענות המתנגדים.

ובחזרה לענייננו

אנו מתקרבים לסופו של סיפור, ולעיקרו של סיפור. אם הקורא הנכבד עקב והפנים את הנתונים שפרסתי בפניו עד כה, אזי הוא מבין כבר שהיצורים החיים עוברים במהלך ההיסטוריה הארוכה שלהם שינויים לא מעטים (האם עלי להזכיר שוב את גזעי בני האדם ולהבדיל את גזעי הכלבים השונים?). הקורא נחשף גם למנגנונים העיקריים שבאמצעותם מתחוללים שינויים אלה (היווצרות גירסאות חדשות במטען הגנטי, העדפת הגירסאות החדשות על פני הישנות עקב התאמה טובה יותר לסביבה, או פשוט במקרה - אם מדובר באבות המייסדים של קבוצה מבודדת). ראינו גם שהיה ממש מספיק זמן להרבה תהליכים, ארוכים ככל שיהיו. ברמת העיקרון, אין סיבה מיוחדת לשלול את האפשרות שהמינים עצמם אכן נוצרו בתהליך זהה, יתר על כן, תהליך זה הוא בעצם המשך הגיוני לתהליך ההשתנות המתמיד הפוקד את עולם החי, בין בידי אדם ובין בטבע. אבל, אין בכך די. שהרי לא כל מה שיכול לקרות, אכן קרה. מנין לנו שזה באמת מה שקרה? שבאמת המינים השונים של היצורים החיים התפתחו מאותם אבות משותפים?

בפרק הבא אציג את הראיות לכך שאכן - כך בדיוק זה קרה. וברצוני לשוב ולהדגיש שדווקא לנו כמאמינים, אמור להיות קל יותר להפנים את הראיות שלהלן ולהבין שכך ברא הבורא את עולמו. ובע"ה, יזכה כל אחד מאיתנו אחרי מאה ועשרים להזדמנות להעמיק את ידיעותיו ולשאול בישיבה של מעלה מדוע בחר הבורא בדרך טבעית זו ולא בדרך של "הוקוס פוקוס".