

פתח דבר

בספר זה נכלל חומר הלימוד הנדרש לבחינת הבגרות בגיאוגרפיה – אדם וסביבה **בתחום ההתמחות: כדור הארץ והסביבה**.

הנושאים בספר תואמים לתכנית ההלימה שפרסם משרד החינוך, לקראת בחינת הבגרות מועד קיץ תשע"ח (2018).

תחום התמחות זה מיועד לשנה לנבחנים אקסטרניים ולנבחנים חיצוניים. תלמיד שבחר בתחום התמחות זה, יענה על ארבע מתוך שבע שאלות בנושא זה.

הספר כולל את תוכן הנושאים הכלולים בתכנית ההלימה וכן שאלות ותשובות לדוגמה המתאימות לכל פרק. התשובות מורחבות ומקיפות ואינן מסתפקות בדרישת השאלות בלבד. כמו כן ישנה הפניה למפות השונות שבאטלסים, שבהן רצוי ומומלץ להיעזר בזמן לימוד החומר ובעת פתרון בחינת הבגרות. בפרקים השונים שבספר מופיעים "טיפים" המנחים כיצד ראוי לענות על השאלות השונות. אנו ממליצים להשתמש בדוגמאות רבות, בהשוואות, בהסקת מסקנות ואף להביע את דעתכם האישית בנושאים השונים, בעיקר בשאלות הדורשות חשיבה. לאורך הספר מצורפים ברקודים לסריקה, המרחיבים וממחישים את התופעות המוסברות בספר ומספקים מידע נוסף. ניתן להשתמש גם בלינקים הרשומים. ישנה בחינת מתכונת מלאה בסוף הספר לתרגול. אנו מאחלות לכל התלמידים הצלחה רבה בבחינת הבגרות.

ניבה דגן ולינדה גטניו

נושא 1: אסונות טבע והתמודדות האדם עמם

א. רעידות אדמה והתפרצויות געשיות

כדי להבין מדוע מתרחשות רעידות אדמה והתפרצויות געשיות עלינו להכיר את **מבנה כדור הארץ ואת השכבות המרכיבות אותו**.

כמו כן עלינו להבין את **תנועת הלוחות הטקטוניים** והשלכותיה על הנוף ועל האדם. תנועה זו משפיעה על מיקומם של **אזורים פעילים בעולם** (רעידות אדמה והתפרצויות געשיות), שעל האדם להתמודד איתם כדי לשרוד. בנושאים אלו עוסק הפרק.

מומלץ לקרוא פרק זה תוך התבוננות במפות הגיאולוגיות ובמפות הפיזיות של כדור הארץ שבאטלסים השונים ולהיעזר בשרטוטים המצורפים, להבנת הנושא.

נתונים בסיסיים על כדור הארץ:

צורתו של כדור הארץ, שהוא אחד מכוכבי הלכת במערכת השמש, אינה בדיוק כדורית סימטרית. הוא פחוס מעט בקטבים ורחב יותר באזור קו המשווה. צורתו נקראת "אליפסואיד" והוא מסתובב סביב צירו (סיבוב אחד נמשך 24 שעות) וסביב השמש (סיבוב אחד נמשך כ-365 ימים).

מידותיו:

קוטרו של כדור הארץ בין שני הקטבים (הצפוני והדרומי) הוא: 12,714 ק"מ.
קוטרו של כדור הארץ בקו המשווה הוא: 12,757 ק"מ.
היקפו, דרך הקטבים, הוא: 40,009 ק"מ.
היקפו, בקו המשווה, הוא: 40,077 ק"מ.

האטמוספירה:

סביב כדור הארץ מצויה האטמוספירה (שכבת אוויר) המגיעה לגובה של עד 30 ק"מ מעל פני הארץ.

הטמפרטורות שבתוך כדור הארץ:

הטמפרטורות בחלק הפנימי של כדור הארץ גבוהות מאוד. ככל שחודרים לעומק עולה הטמפרטורה בשלוש מעלות צלזיוס לכל 100 מטר.
במרכז כדור הארץ (בחלק הפנימי של המעטפת והגלעין) מגיעות הטמפרטורות לכדי 5,000-10,000 מעלות צלזיוס. מידע על הטמפרטורות השוררות בתוך הכדור מתקבל בזכות קיומם של מעיינות חמים או זרמי לבה הפורצים החוצה מלועות הרי געש.
הטמפרטורות הגבוהות שבמעמקי כדור הארץ גורמות ללחץ עצום ולהתכת החומר ולזרימתו. תנועת החומר גורמת לרעשים ולרעידות אדמה.
לטמפרטורות הגבוהות השוררות בתוך כדור הארץ שלושה מקורות: שני מקורות פנימיים ומקור חיצוני אחד.

המקורות הפנימיים הם:

- א. חום הגלעין – בגלל דחיסותו של הגלעין הופכת אנרגיית הכבידה לאנרגיה של חום.
- ב. התפרקות רדיואקטיבית.

המקור החיצוני הוא חום השמש.

מצב הצבירה של החומרים המרכיבים את כדור הארץ:

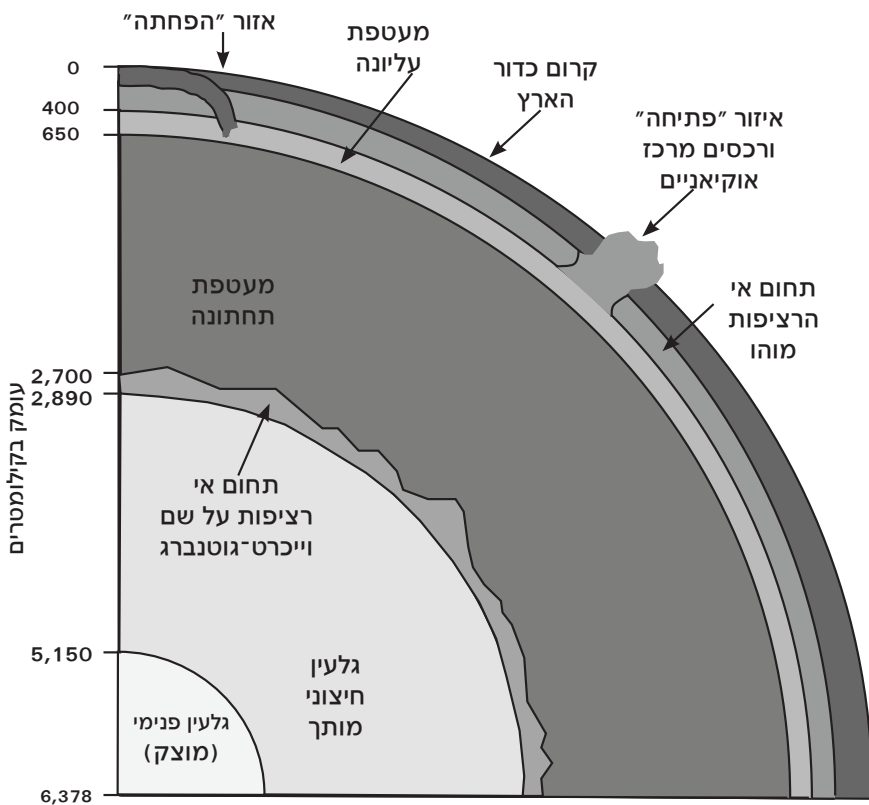
מידע על מצב הצבירה ועל צפיפות החומרים המרכיבים את השכבות הפנימיות של כדור הארץ מתקבל מחקר הגלים הסיסמיים הנקלטים במכשירים מיוחדים (סיסמוגרפים), בעת רעידות אדמה ורעשים הנוצרים עקב שינויים בתנועת החומרים שבתוך הכדור.

1. מבנה כדור הארץ

כדור הארץ מורכב משלושה חלקים עיקריים השונים זה מזה בחומרים המרכיבים אותם, בצפיפותם ובמשקלם הסגולי:

- 1. הגלעין (core)** – החלק המרכזי והפנימי ביותר, שקוטרו מגיע לכ-6,900 ק"מ (מורכב מגלעין פנימי ומגלעין חיצוני).
- 2. המעטפת (mantle)** – החלק העוטף את הגלעין, שעוביו כ-3,000 ק"מ (מורכבת ממעטפת פנימית וממעטפת חיצונית).
- 3. הקרום (crust)** – המהווה את הקליפה החיצונית של כדור הארץ, שעוביו הממוצע כ-30 ק"מ. [מורכב מקרום יבשתי (עליון ותחתון) ומקרום ימי/אוקיאני. עובי הקרום הימי מגיע לכחמישה ק"מ ועובי הקרום היבשתי מגיע לכ-70 ק"מ].

מבנה כדור הארץ



בין הגלעין לבין המעטפת עובר גבול (תחום הפרדה) הנקרא: **"תחום אי רציפות על שם וייכרט-גוטנברג"** ובין המעטפת העליונה לבין הקרום קיים תחום הפרדה הנקרא: **"תחום אי רציפות מוהו"** (על שם תגליתו של מוהורוביציץ') שהוא, למעשה, הגבול התחתון של הקרום. מוהורוביציץ' גילה שקיים הפרש זמן בין הגלים הסיסמיים הנקלטים בתחנות השונות. הגלים העוברים מתחת לתחום אי רציפות מהירים יותר (כי החומר כבד יותר) מהגלים העוברים בתחום אי רציפות עומק תחום אי רציפות אינו שווה בכל מקום. מתחת ליבשות הוא עמוק יותר ומתחת לאוקיינוס הוא דק יותר.

הקרום והמעטפת החיצונית העליונה יוצרים שכבה קרה וחזקה הנקראת **ליתוספרה** (ליתוס = אבן). החלק העמוק יותר של המעטפת העליונה נקרא **אסתנוספרה** ("האזור הרופף") והוא מהווה כ-32% ממסת כדור הארץ.

הגלעין

- מיקומו של הגלעין בליבת כדור הארץ והוא תופס כמחצית מקוטר הכדור.
- משקלו הסגולי* (צפיפות החומר) נע בין 10 ל-13 גרם/סמ"ק.
- הגלעין מהווה כ-32% מן המסה הכללית של כדור הארץ.
- הגלעין מתחלק לשני חלקים: **גלעין פנימי וגלעין חיצוני**.
- **הגלעין הפנימי** – נמצא במצב צבירה מוצק, למרות הטמפרטורה העצומה, וזאת משום הלחץ העצום המופעל עליו מהשכבות העוטפות אותו.
- **הגלעין החיצוני** – נמצא במצב צבירה נוזלי (אינו מעביר את גלי הרוחב S**) (Fe) הגלעין מכונה גם בשם "ניפה" (NiFe), על שם היסודות המרכיבים אותו: ניקל (Ni) וברזל (Fe) המשפיע על השדה המגנטי של כדור הארץ.

* משקל סגולי – מסה של חומר ליחידת נפח
** ראו הסבר בהמשך בעמוד הבא.

המעטפת

- מיקומה בין הגלעין לבין הקרום (היא עוטפת את הגלעין).
- מהווה 67% ממסת כדור הארץ ותופסת 83% מנפחו.
- המעטפת היא שכבה **עתירת מגנזיום** (בחלקה העליון) ו**ברזל** (בחלקה התחתון).
- המעטפת נחלקת לשני חלקים עיקריים: **מעטפת עליונה** (בעובי של כ-400 ק"מ) ו**מעטפת תחתונה** (בעובי של כ-2,000 ק"מ). בין שני חלקי המעטפת מצוי אזור מעבר בעובי של כ-600 ק"מ.
- **המעטפת העליונה** – מורכבת בחלקה העילי מחומר במצב מוצק (**ליתוספרה**) שמתחתיו חומר במצב צבירה קרוב לנוזל (מגמה*), המסוגל לזרום (**אסתנוספרה**).
- **המעטפת התחתונה** – נמצאת מתחת לאסתנוספרה. זוהי שכבה מגמתית (מותכת וחמה), עתירת ברזל ומעט מגנזיום בטמפרטורות גבוהות.
- ככל שיורדים לעומק המעטפת עולים צפיפות החומר ומשקלו הסגולי.

* מגמה – חומר סלעי מותך

הקרום

- מיקומו בחלק החיצוני של כדור הארץ, מעל המעטפת.
- מהווה 0.5% ממסת כדור הארץ ותופס 1% מנפחו.
- הקרום נחלק לשני חלקים: **קרום יבשתי** (קונטיננטלי) ו**קרום ימי** (אוקיאני).
- **הקרום היבשתי** – משקלו הסגולי (צפיפותו) הוא 2.7 גרם/סמ"ק. הקרום היבשתי ידוע גם כ"**שכבת הגרניט**" הקרויה "**סיאל**" (Sial), על שם היסודות העיקריים המצויים בה: הצורן (Si) ו**האלומיניום** (Al). עוביו של הקרום היבשתי נע בין 20 ל-70 ק"מ והוא עבה יותר מהקרום הימי.

הקרום הימי – בעל משקל סגולי גבוה יותר מהקרום היבשתי, 3 עד 3.3 גרם/סמ"ק ולכן הוא כבד יותר. ידוע גם כ"שכבת הבזלת" הקרויה "סימה" (Sima), על שם היסודות העיקריים שבה: צורן (Si) ומגנזיום (Mg). הסימה מהווה את קרקעית האוקיינוסים ועובייה כ-5-6 ק"מ.

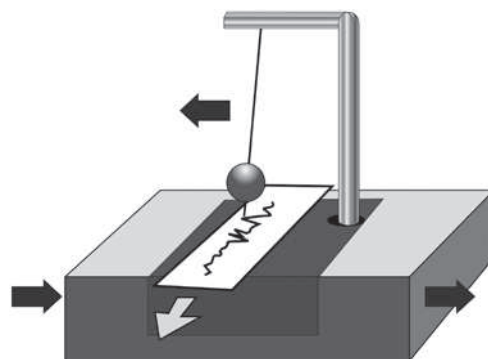
- בקרום היבשתי והימי מצויות גם שכבות של סלעי משקע (סדימנטים) הנוצרים מבליה של חומרים אחרים וכן שכבות סלעים אחרות כמו סלעים מותמרים.
- הקרום היבשתי (הגרניטי) קל יותר מן הקרום הימי (הבולתי) והוא "צף" מעליו.

רעידות אדמה וגלי הרעש (הגלים הסיסמיים)

המקור לידע על מבנהו של כדור הארץ, שתואר לעיל, מגיע מחקר רעידות האדמה (רעשים) והזעזועים הקיימים בו. כאשר מתרחשת רעידת אדמה, האנרגיה המשתחררת בעת התזוזה מתפשטת בצורת גלים (הנקראים **גלים סיסמיים**), **ממוקד הרעש** (במעגלים קונצנטריים) ונקלטים על ידי מכשירים מיוחדים – **סיסמוגרפים**, המפוזרים על פני השטח. ניתוח משך התפשטות הגלים ממוקד הרעש למרחקים שונים מסייע לפענוח המבנה הפנימי של כדור הארץ.

רעידות אדמה מתרחשות כתוצאה מתזוזה ומתנועה מתמדת של החומר המותך הנמצא במעמקי כדור הארץ, והיערכותו מחדש כתוצאה מתהליכים פיזיים וכימיים שונים. החומר הנע במעמקי האדמה סוחף עמו חלקים קשים ומוצקים ואף מניע את הלוחות הטקטוניים. כאשר מתרחשת התנגשות בין חומרים קשים או בין לוחות טקטוניים, נגרמים זעזועים היוצרים **גלים סיסמיים ("גלי הדף")**. הגלים הסיסמיים מתפשטים **ממוקד הרעש** ועוצמתם הולכת ונחלשת ככל שהם מתרחקים ממוקד זה.

סיסמוגרף



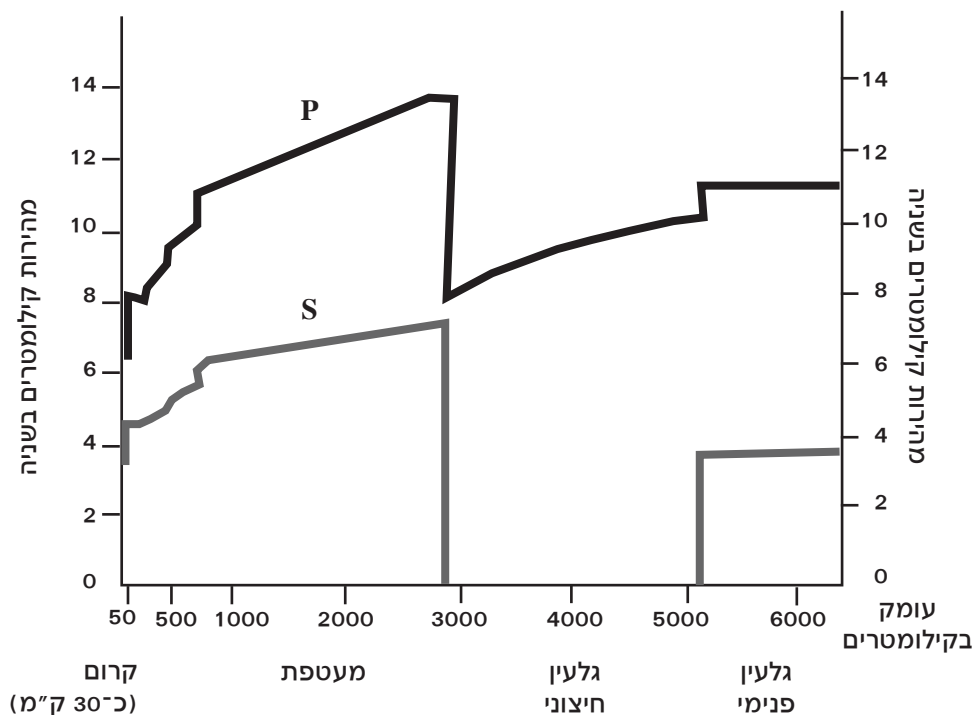
קיימים שלושה סוגי גלים סיסמיים הנבדלים זה מזה במהירותם ובאופיים:

1. **גלי P (Primary)** – נקראים גם "גלי דחיסה". אלה גלי אורך שמהירותם כ-6-7 ק"מ/שנייה. הם יוצאים ממוקד הרעש ונקלטים ראשונים בסיסמוגרפים. חודרים גם לעומק כדור הארץ. גלים אלו מסוגלים לעבור הן בחומר מוצק והן בנוזל.
2. **גלי S (Secondary)** – נקראים גם "גלי גזירה". אלה גלי רוחב ועומק שמהירותם כ-3.5 עד 4 ק"מ/שנייה. גלים אלו עוברים רק בחומר מוצק. הם אינם עוברים דרך חומר נוזלי. נקלטים שניים בסיסמוגרף.
3. **גלי L וגלי R** (על שם לווה וריילי) – נקראים גם "גלי שטח" (או גלים היקפיים). גלים אלה אינם חודרים לעומק כדור הארץ. הם עוברים רק בחלקו החיצוני (בקרום). מהירותם קטנה מ-4 ק"מ/שנייה. גלים אלה עלולים להיות הקטלניים ביותר.

מהירות הגלים ומהלכם תלויים בסוגי הגלים ובמצבי הצבירה ובסוג החומר שבו הם עוברים. בעזרת תורת הגלים אפשר למצוא את מוקד הרעש בעזרת ניתוח נתוני הסיסמוגרפים, בשלוש תחנות הקולטות אותם, שבהם נקלטים גלי P וגלי S. גלים אלו, הנוצרים במקום כלשהו בכדור הארץ, נקלטים בסיסמוגרפים בעולם כולו. הגלים חוצים את כל כדור הארץ ומהירות התקדמותם נקבעת על פי תכונות החומר שבתוך הכדור, כגון: הרכב החומר, מצב הצבירה שלו וצפיפותו. מניתוח נתונים של מהירות התפשטות הגלים הסיסמיים ברעידות אדמה רבות, התקבלה תמונה של מבנה כדור הארץ ושל התנאים השוררים בתוכו.

בשרטוט שלפניכם אפשר להבחין בשינוי מהירות הגלים בעת שהם עוברים בחלקים השונים של הגלעין והמעטפת. כמו כן אפשר ללמוד שגלי S אינם עוברים בגלעין החיצוני כי הוא נוזלי וגלי P מאטים את מהירותם כאשר הם עוברים בנוזל.

מהלכם של גלי P וגלי S במעטפת ובגלעין



עוצמת רעידות האדמה

נמדדת על ידי יחידות מידה הנקראות "סולם ריכטר" או באמצעות "סולם מרקאלי". "סולם ריכטר" – זהו סולם בן 10 דרגות ומעלה. הדרגה (מגניטודה) של עוצמת הרעש בסולם ריכטר היא מדד יחסי של כמות האנרגיה שהשתחררה במוקד רעידת האדמה. סולם ריכטר מציג את עוצמתן של רעידות אדמה בסקאלה לוגריתמית (לפי בסיס 10), כלומר עוצמתה של רעידת אדמה שדרגתה 7 בסולם ריכטר גדולה פי 10 מזו של רעידת אדמה שדרגתה 6. זוהי מדידה אובייקטיבית ומדויקת יותר כיוון שהיא משתמשת בנתונים הנרשמים באמצעות הסיסמוגרף.

"סולם מרקאלי" – שיטה למדידת העוצמה של רעידת אדמה על פי ההשפעה שלה על פני כדור הארץ, על תוואי השטח, על מבנים ובניינים ועל בני אדם. העוצמה נמדדת בסולם בן 12 דרגות שבו דרגה 1 מציינת רעידה שהורגשה רק במכשירי מדידה סיסמיים ודרגה 12 מציינת הרס טוטאלי. העוצמה על פי סולם זה הולכת ויורדת עם המרחק ממוקד הרעש והיא נקבעת באמצעות איסוף הנתונים על השפעת הרעידה במקומות שונים על ידי אנשים שהיו באזורים שהושפעו מהרעש. זהו סולם סובייקטיבי.

בין שני הסולמות עשויים להיות הבדלים גדולים. לדוגמה: דרגה נמוכה יחסית בסולם ריכטר עשויה להיות גבוהה מאוד בסולם מרקאלי כאשר היא מתרחשת באזור מאוכלס שבו הבנייה אינה חזקה. ההרס הנצפה על ידי האנשים הוא רב מאוד. באזור שבו הבנייה חזקה ועמידה בפני רעשים, ההרס הוא מועט יחסית, ודרגתו בסולם מרקאלי תהיה נמוכה. באזור בלתי מיושב (כמו באזור מדברי או באוקיינוס) שבו תתרחש רעידת אדמה בדרגה גבוהה מאוד על פי סולם ריכטר, הדרגה בסולם מרקאלי תהיה נמוכה כיוון שלא נצפו נזקים חמורים על ידי האנשים.

2. טקטוניקת הלוחות ורעידות אדמה

תיאורית "נדידת היבשות"

תיאוריית מבנה הלוחות המרכיבים את קרום כדור הארץ, או כפי שהיא מוכרת בשם **"טקטוניקת הלוחות"**, פותחה בסוף שנות השישים של המאה העשרים. קדמה לה התיאוריה של **"נדידת היבשות"** שהעלה החוקר הגרמני, אלפרד וֶגְנֶר, כבר בשנות העשרים של המאה העשרים. וגנר האמין בקיומה של יבשת-על גדולה, **"פאנגיאה"**, שהתבקעה מאוחר יותר והתפרקה ליבשות השונות. חוקרים אחרים טענו שהתקיימו שתי יבשות-על: היבשת הצפונית, **לאורסיה** (שכללה את צפון אמריקה, אירופה ואסיה), והיבשת הדרומית **גונדוואנה** (שכללה את דרום אמריקה, אפריקה, הודו, אוסטרליה ואנטרקטיקה). בין היבשות הפריד אוקיינוס גדול - **אוקיינוס תטיס** (עיינו במפה המתארת את תזוזת הגושים היבשתיים בעמוד 164 באטלס כרטא). אלפרד וגנר הביא כמה נימוקים להוכחת התיאוריה שלו:

- **התאמה גיאוגרפית בצורות החופים** של היבשות המאפשרת "לחבר" את כל היבשות הקיימות כיום ליבשת-על אחת (בולטת מאוד ההתאמה בין חופה המערבי של אפריקה לצורת החוף המזרחי של יבשת דרום אמריקה).
- **התאמה ביולוגית** – התברר שביבשות השונות, המרוחקות כיום מרחק רב זו מזו, קיימים מאובנים זהים של בעלי חיים בני גיל דומה.
- **התאמה טקטונית** – רכסי קימוט זהים נמשכים משני עברי האוקיינוס האטלנטי ומוכיחים את קיומה של יבשת-על שהתפרקה.
- **קיומם של מרבצי פחם** באזורים הרחוקים כיום מקו המשווה (שם הם נוצרו בתנאי אקלים חם ולח) מעידים על "נדידת היבשות".

לתיאוריה של אלפרד וגנר היו מתנגדים רבים כי טרם הבינו אז מהו הכוח שהניע את התפרקות היבשות ואת תנועתן. כיום מקובלת תיאוריית **תנועת הלוחות הטקטוניים** המסבירה את התפרקות יבשת-העל ונדידת חלקיה באמצעות **"זרמי הערבול"** שבמעטפת כדור הארץ, אשר עליה נרחיב בהמשך.



תנועת הלוחות הטקטוניים

הקרום הסלעי העוטף את כדור הארץ (הליתוספירה) אינו אטום אלא קיימים בו סדקים (שהם הגבולות בין הלוחות). דרך סדקים אלה משתחררת האנרגיה העצומה הקיימת בתוכו. בין הסדקים ישנם חלקי קרום יבשתי (לוחות יבשתיים), קרום אוקיאני (לוחות אוקיאניים) או חלקים המכילים קרום יבשתי ואוקיאני (לוחות מעורבים). חלקי קרום אלה נקראים **לוחות** (או פלטות). כדור הארץ מורכב מלוחות גדולים מאוד כמו הלוח האפריקאי, הלוח האירו-אסיאני, הלוח האמריקאי, הלוח האנטרקטי, הלוח הפסיפי (לוח האוקיינוס השקט) והלוח ההודי-אוסטרלי. כן ישנם לוחות קטנים יותר כמו הלוח הקריבי, לוח הקוקוס, הלוח הערבי, הלוח הפיליפיני ועוד (ראו באטלסים השונים את מפת הלוחות הטקטוניים).

הלוחות המרכיבים את הליתוספירה נמצאים בתנועה מתמדת הנגרמת על ידי תנועת החומרים הלוהטים והמותכים שמתחת לקרום. תנועת הלוחות, הנקראת “**טקטוניקת הלוחות**”, כוללת כמה סוגי תנועות:

- **התרחקות בין לוחות** – כאשר לוחות מתרחקים זה מזה נוצר ביניהם “**אזור פתיחה**” (לדוגמה, התרחקות הלוח האמריקאי מהלוח האפריקאי יוצרת אזור פתיחה באוקיינוס האטלנטי).
- **התקרבות בין לוחות** – כאשר לוחות מתקרבים זה לזה נוצר ביניהם “**אזור הפחתה**” (לדוגמה, הלוח ההודי המתקרב ללוח האירו-אסיאני ונוצר ביניהם אזור הפחתה).
- **חיכוך ותזוזה אופקית בין לוחות** – כאשר שני לוחות מתחככים נוצר ביניהם “**אזור החלקה**” (לדוגמה, הלוח האפריקאי והלוח הערבי יוצרים ביניהם תנועת החלקה בעקבות תזוזה אופקית של הלוח הערבי לכיוון צפון).

רעידות אדמה (ראו גם את ההסבר שלעיל)

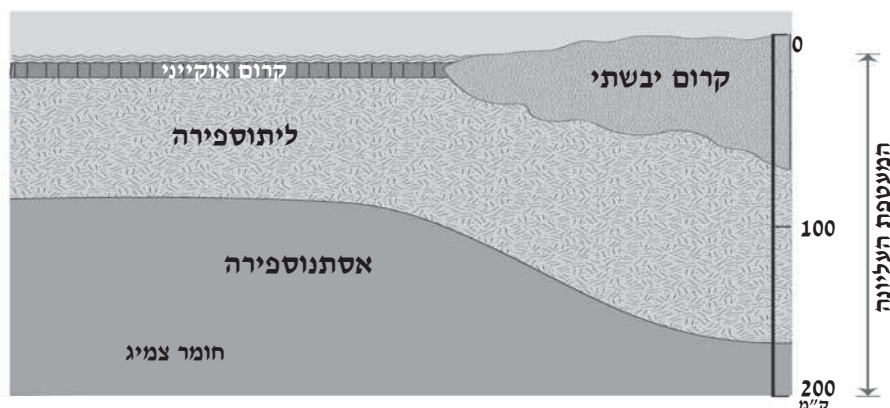
רעידת אדמה היא ביטוי של ניתוק בין גושי סלע, זעזוע והתגברות על גורם החיכוך וההחלקה. כדי שתיווצר רעידת אדמה דרושה תזוזה של גושי סלעים גדולים, ואלה נמצאים בגבולות הלוחות הטקטוניים הנמצאים בתנועה. רעידות אדמה יכולות להתרחש גם לאורכם של שברים בקרום הסלעי, בתוך הלוח עצמו.

לתנועות השונות שבין הלוחות ישנן השלכות על השינויים החלים בנוף שעל פני כדור הארץ. כל אזורי החיבור שבין הלוחות מועדים לרעידות אדמה ולהתפרצויות געשיות!

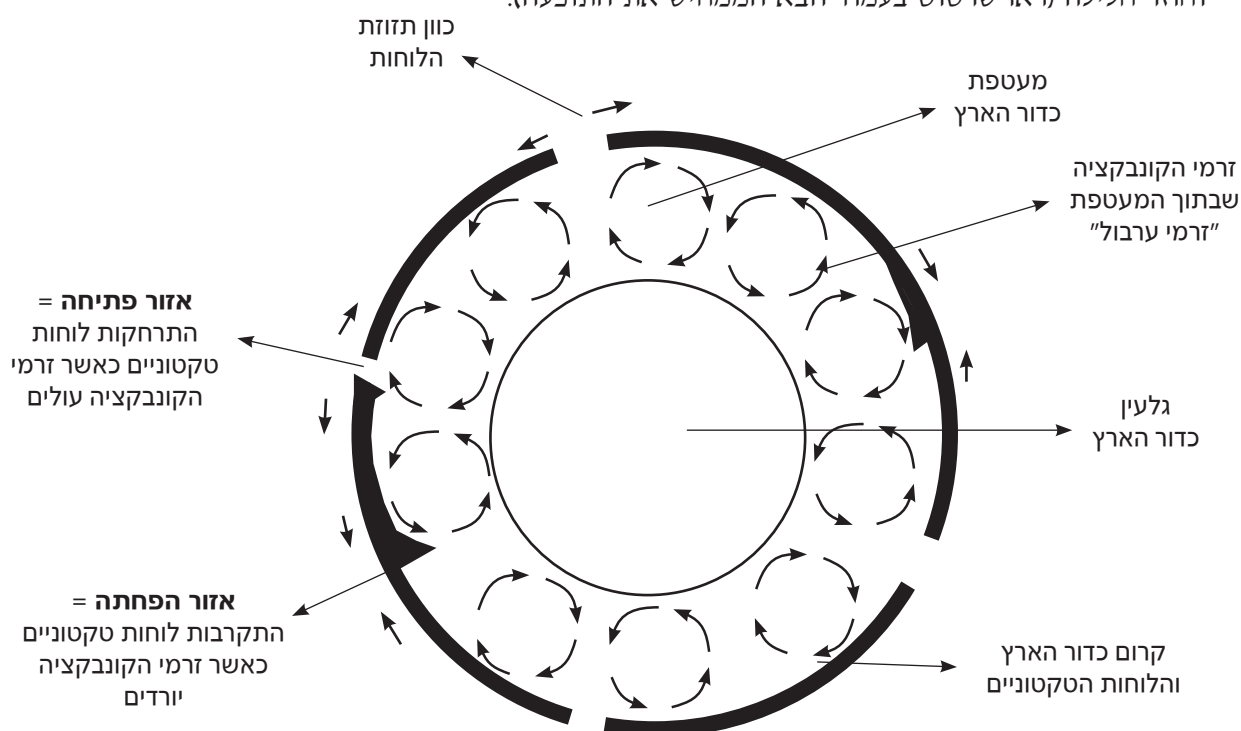


מהו הכוח המניע את תנועת הלוחות?

תזוזת הלוחות הטקטוניים המרכיבים את קרום כדור הארץ נגרמת כתוצאה מקיומם של "זרמי ערבול" (זרמי קונבקציה) בתוך שכבת המעטפת (האסתנוספירה) הנמצאת מתחת לשכבת הליתוספירה שבין הגלעין לקרום היבשתי והאוקיאני (כפי שאתם רואים בשרטוט):



המעטפת מורכבת מחומר **מגמתי** – צמיגי וחם מאוד. בין חלקה הפנימי העמוק של המעטפת לבין חלקה החיצוני-עליון (הקרוב לקרום) קיימים הפרשי טמפרטורה. בחלק הפנימי המגמה חמה יותר מאשר בחלק החיצוני. בעקבות הפרשי הטמפרטורה נע החומר המגמתי הלוהט בצורת **זרמי ערבול** (קונבקציה), מן המעמקים אל החלק העליון של המעטפת. עם התקררותו חוזר החומר למעמקים, מתחמם ועולה שוב, וחוזר חלילה (ראו שרטוט בעמוד הבא הממחיש את התופעה).

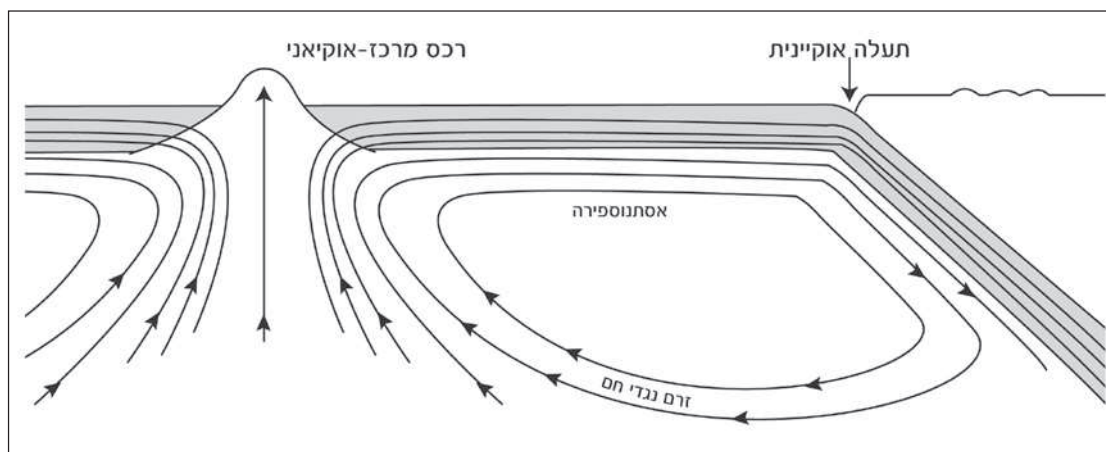


תנועת הלוחות הטקטוניים

שימו לב: **אזורי פתיחה** (התרחקות של שני לוחות טקטוניים) מתרחשים במקום שזרמי הקונבקציה עולים, בתוך המעטפת, ממעמקים. **אזורי הפתיחה** (התקרבות והתנגשות של לוחות טקטוניים) מתרחשים כאשר זרמי הקונבקציה יורדים, בתוך המעטפת, חזרה למעמקי המעטפת.

כאשר זרמי הערבול עולים הם גורמים להתרחקות הלוחות הטקטוניים שמעליהם ויוצרים "אזורי פתיחה" בקרום כדור הארץ, שבהם נוצרים רכסים מרכז-אוקיאניים. כאשר הזרמים יורדים חזרה למעמקי המעטפת הם גורמים להתקרבות הלוחות הטקטוניים, הצפים מעל המגמה, ויוצרים "אזורי הפחתה" בקרום שבהם נוצרות "תעלות אוקיאניות" (תהומות). ראו המחשה בשרטוט הבא:

דוגמה לזרמי ערבול באזור הפחתה, היוצרים תעלות (תהומות) אוקיאניים ובאזורי פתיחה (היוצרים רכס מרכז אוקייני).



ההשלכות של תנועת הלוחות:

כאמור, יש לתנועת הלוחות ולתזוזתם השלכות על השינויים המתרחשים בנוף שעל פני כדור הארץ ובקרקעית האוקיינוסים, והן אחראיות לקיומן של רעידות אדמה ושל התפרצויות געשיות. הגבולות שבין הלוחות הטקטוניים (קווי ההפרדה בין הלוחות) מופיעים בכמה צורות הנוצרות בהתאם לכיווני התנועה בין הלוחות: ישנם גבולות שהם רכסים מרכז-אוקיאניים (באזורי פתיחה) או גבולות שהם תעלות/תהומות אוקיאניות עמוקות וקשתות איים, רכסי הרים פעילים (באזורי הפחתה) או שברים גדולים (באזורי החלקה).



"אזורי פתיחה" – קליק על סרטון יו-טיוב

<http://tinyurl.com/6obrvyo>

• השלכות של תנועת פתיחה והתרחקות בין לוחות ("אזורי פתיחה")

התרחקות בין לוחות הנוצרת בעקבות עלייתם של זרמי הערבול גורמת לעלייתו של חומר מגמתי הפורץ החוצה וגורם ללוחות שלצידו להתרחק זה מזה. חדירת חומר בזלתי כבד ממעמקים והתקררותו גורמות להיווצרותו של רכס מרכז אוקיאני* (שהוא למעשה הר געש תת ימי). המגמה הפורצת מסדקים שבקרום דוחקת את הלוחות הצידה ומרחיבה את האוקיינוס. כאשר החומר הבזלתי הלוהט מתקרר, נוצר למעשה קרום חדש ויבשת חדשה תעלה אט-אט מתוך האוקיינוס. עיינו במפה הפיזית של כדור הארץ שבאטלס, שבה אפשר לראות שבמרכז האוקיינוס האטלנטי, לכל אורכו, מצוי רכס תת אוקיאני המכוסה במי הים. בצפון האוקיינוס האטלנטי עלה הרכס מעל פני המים ויצר את האי הגעשי – איסלנד (האיים האזוריים שמדרום לאיסלנד וממערב לספרד נוצרו בצורה דומה). גם במזרח האוקיינוס השקט ישנם רכסים תת אוקיאניים. בים סוף נוצר רכס תת אוקיאני הגורם להתרחקותו של הלוח הערבי מהלוח האפריקאי. בעתיד הרחוק מאוד ים סוף יהפוך לאוקיינוס נרחב.

* **רכס מרכז אוקיאני** בנוי משורות מקבילות של חומר מגמתי בזלתי. שורות אלה נוצרו מהתפרצות של **דייקים** (חומר מגמתי העולה מסדקים שבאזורי פתיחה) אחד לתוך קודמו. גיל הדייקים שבמרכז הרכס צעיר יותר מגילם של הדייקים הרחוקים מסדק ההתפרצות. למינרלים הברזליים שבבזלת יש תכונות מגנטיות. חקר התכונות המגנטיות וגיל הסלעים שמשני צידי סדק ההתפרצות של המגמה, מסייע להוכחת קיומה של תנועת הלוחות. חקירת המגנטיות של דייקים רחוקים יותר מסדק ההתפרצות מראה שוני בכיוון המינרלים ביחס לשדה המגנטי של כדור הארץ מזה של דייקים צעירים יותר, הקרובים לסדק ההתפרצות. מדע זה, הנקרא **פאליאומגנטיזם** (מגנטיזם קדום או מאובן), מוכיח את תזוזת הלוחות.

"תנועת התקרבות והתנגשות לוחות" – קליק על סרטון יו-טיוב



<http://tinyurl.com/6obrvyo>

• **השלכות של תנועת התקרבות בין לוחות ("אזורי הפחתה" והתנגשות)**

תנועת התקרבות בין לוחות נוצרת כאשר זרמי הערבול מתקררים בחלק העליון של המעטפת ויורדים חזרה למעמקה.

כאשר לוחות טקטוניים מתקרבים זה לזה נוצרת ביניהם התנגשות ולוח כבד יותר (לוח אוקיאני, בזלתי) חודר מתחת ללוח יבשתי (קל יותר, גרניטי). ישנן גם התקרבות והתנגשות בין לוחות אוקיאניים כאשר לוח אחד חודר מתחת לשני וכן לוחות יבשתיים המתנגשים זה בזה. לכל תופעה כזו השלכות שונות:

התקרבות והתנגשות בין לוחות מסוגים שונים:

לוח אוקיאני החודר מתחת ללוח יבשתי (אזור הפחתה)

כאשר לוח אוקיאני מתנגש בלוח יבשתי, הלוח האוקיאני המורכב מחומר כבד יותר (משקלו הסגולי גבוה מזה של הלוח היבשתי) חודר מתחת ללוח היבשתי, נעלם וניתך מחדש. אזור זה מכונה "אזור הפחתה". שקיעתו של הלוח הכבד יוצרת **תהומות/תעלות אוקיאניות עמוקות** (ראו במפה הפיסית שבאטלס את תהום יפן או את תהום הפיליפינים ותהום מריאנה שנוצרו לאחר התנגשות הלוח הפסיפי בלוח האירו-אסיאני). אזורי הפחתה אלה נקראים גם "**אזורי בניון**". כמו כן נוצרות **שרשראות/קשתות איים** – כמו איי הפיליפינים ואיי יפן, המלוות בהרי געש פעילים וברעידות אדמה רבות.

תופעה נוספת הנוצרת בהתקרבות בין לוח אוקיאני ללוח יבשתי היא **תהליך הקימוט** היוצר שרשראות רכסי הרים. כך נוצרו הרי ה"קימוט האלפיני" הצעירים, כמו הרי האנדים שבמערב יבשת דרום אמריקה (מהתקרבות בין הלוח הפסיפי ללוח האמריקאי). תהליך יצירת ההרים מלווה בחיכוך עצום בין הלוחות הגורם לרעידות אדמה וליצירת הרי געש. גם הרי הסלעים (רוקי) שבמערב יבשת צפון אמריקה נוצרו בתהליך זה, וגם בהם, כמו בהרי האנדים, נוצרו הרי געש רבים ורעידות אדמה.

התקרבות והתנגשות בין לוחות בעלי אופי זהה:

1. התנגשות בין שני לוחות אוקיאניים:

תופעה זו מלווה ברעידות אדמה באוקיינוס ויוצרת את תופעת ה"צונאמי" שעליה נסביר בהמשך.

2. התנגשות בין שני לוחות יבשתיים

התנגשות כזאת גורמת לחדירת לוח אחד מתחת לשני ולהיווצרות **קימוט ורכסי הרים** המלווים ברעידות אדמה והרי געש. לדוגמה: הלוח ההודי הנוחת מתחת ללוח האירו-אסיאני. בעקבות התנגשות זו נוצרו הרי ההימלאיה (המהווים חלק מהקימוט האלפיני). הרי הטאורוס המזרחיים שבטורקיה נוצרו כתוצאה מהתנגשות הלוח הערבי בלוח האירו-אסיאני.

• השלכות של תנועות החלקה בין לוחות

תנועת החלקה בין לוחות נוצרת כאשר לוח אחד נע ומחליק לצידו של לוח אחר, בכיוון מנוגד. תופעה זו מתרחשת לאורכו של קו שבר גדול הנקרא: **שבר תזוזה אופקית**. דוגמה לתנועת החלקה קיימת לאורך **השבר (הבקע) הסורי-אפריקאי**, שהוא קו התפר בין הלוח הערבי ללוח האפריקאי. הוא כולל את מערכת הבקעים של מזרח אפריקה, בקע ים סוף, בקע ים המלח, בקע הירדן ובקעת הלבנון וסוריה.

בבקע הסורי-אפריקאי קיימת פעילות וולקנית חזקה המתבטאת ברעידות אדמה, בהרי געש וברמות בזלתיות. תנועות החלקה קיימות גם במערב ארצות הברית לאורך **שבר סן אנדריאס**. גם כאן מלווה תנועת ההחלקה ברעידות אדמה חזקות, בהרי געש וברמות בזלתיות.

הבקע (השבר) הסורי-אפריקאי – דוגמה לתנועת החלקה בין לוחות

הבקע הסורי-אפריקאי הוא אחד מהבקעים הגדולים בעולם. הבקע נוצר בעקבות התרחקותו של הלוח הערבי מהלוח האפריקאי. התרחקות זו יצרה קו ביקוע, בעקבות מתיחת קרום כדור הארץ, וצניחה של שכבות, לאורך קו הביקוע, כלפי מטה. זהו שקע טופוגרפי עמוק (גראבן) שלצידו קירות תלולים וקווי שבר.

הבקע הוא למעשה קו הגבול (או קו התפר) בין שני הלוחות. הלוח הערבי נע צפונה ומזרחה ביחס ללוח האפריקאי שנע לכיוון צפון בלבד ובמהירות איטית יותר מאשר הלוח הערבי.

הבקע מתחיל בדרום טורקיה וממשיך דרומה דרך בקעת סוריה ובקעת הלבנון. משם הוא נמשך דרומה דרך עמק החולה, הכינרת, בקעת הירדן, ים המלח, הערבה, מפרץ אילת וים סוף. בדרום ים סוף סוטה השבר לכיוון דרום-מערב, דרך אתיופיה, קניה ועד זימבבואה.

אורכו של השבר כ-6,000 ק"מ ורוחבו נע בין 7 ל-25 ק"מ.

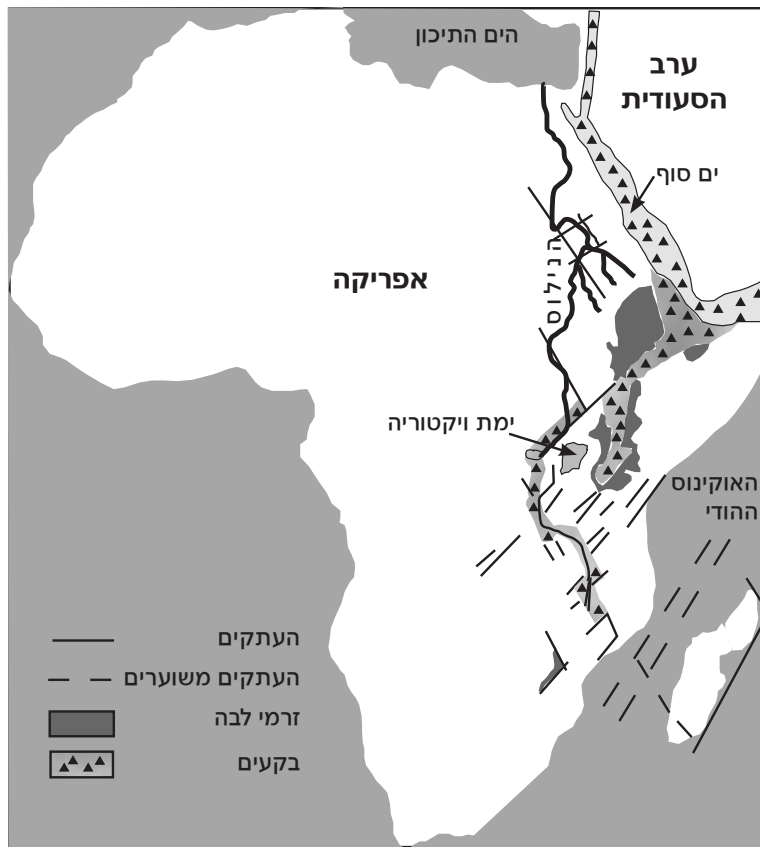
בקע ים המלח ובקע הכינרת הם למעשה בקעים מעוינים שנוצרו בעקבות תזוזת שברי החלקה. אזור ים המלח הוא האזור הנמוך ביותר של הבקע הסורי-אפריקאי.

השבר הסורי-אפריקאי מתחלק לשלושה חלקים:

החלק הצפוני – מדרום טורקיה ועד אילת. בקטע שבין הכינרת לים המלח נוצרה בעבר הגיאולוגי ימת הירדן הקדומה ששרידיה כיום הם הכינרת וים המלח. ימת הירדן נוצרה מחדירת מי הים התיכון, דרך עמק יזרעאל שהוא שבר משני לשבר הבקע. הגראבן ששקע במרכז הבקע גרם להתרוממות השוליים. הלחצים שנוצרו עקב תנועת ההחלקה בין הלוחות גרמו להתרוממות החרמון והרי הלבנון הגבוהים.

החלק המרכזי – הוא הקטע שבו מצוי ים סוף, שבמרכזו מתהווה רכס מרכזי אוקיאני. התפתחותו של רכס זה מרחיקה את הלוח הערבי מהלוח האפריקאי ומרחיבה את-אט את הים שיגיע בעתיד הרחוק לממדי אוקיינוס.

השבר הסורי-אפריקני



החלק הדרומי - מצוי
ביבשת אפריקה. חלק זה גבוה יותר מהחלק המרכזי אך נמוך מסביבתו. באזור אתיופיה קיים צומת (מפגש) משולש של לוחות (הלוח הערבי, הלוח האפריקאי-נובי והלוח האפריקאי-סומאלי) הנקרא "משולש אפר" (Afar). בחלק זה של הבקע נוצרו אגמים רבים כמו ימת ויקטוריה, אגם קיוגה, אגם אלברט, אגם טנגניקה ועוד.

לבקעים הגדולים, כמו לכל קווי התפר והגבולות בין הלוחות הטקטוניים, אופיינית פעילות וולקנית אינטנסיבית (שפכי לבה, הרי געש, רמות בזלתיות) ורעידות אדמה.

הזיקה בין אזורים המועדים לפעילות וולקנית (הרי געש) ולרעידות אדמה לבין הגבולות בין הלוחות הטקטוניים:

אם נתבונן במפות הגיאולוגיות המתארות את רעידות האדמה והרי הגעש בעולם (באטלס כרטא, באטלס כרטא האוניברסאלי ובאטלס האוניברסיטאי החדש), נוכל למצוא קשר הדוק בין האזורים המועדים לרעידות אדמה ולפעילות וולקנית לבין הגבולות שבין הלוחות הטקטוניים.

בקווי התפר שבין הלוחות קיימת תנועה איטית ומתמדת של הלוחות. תנועה זו יכולה להיות אחת מן התנועות שתוארו לעיל: התרחקות בין לוחות, התקרבות או החלקה. כל אחת מהתנועות האלה גורמת להתפרצות האנרגיה האצורה בתוך כדור הארץ ולשחרור הלחץ, בגלל החום הרב השורר בו ובגלל תנועת החומרים המותכים (זרמי הערבול). תופעה זו באה לידי ביטוי בזרימת לבה מסדקים היוצרת הרי געש או רמות בזלתיות, וכן ברעידות אדמה הנגרמות ממעבר גלים סיסמיים המתפשטים משבר שלאורכו חלה תנועה פתאומית ונתק בין גושי סלע המלווה בזעזוע כתוצאה מחיכוך ומהחלקה בין לוחות. מוקדי רעידות האדמה נמצאים סמוך לגבולות הלוחות, לאורך רכסים מרכזי אוקיאניים מתחת לקשתות איים, לאורך שברים גדולים ומתחת לרכסי הרים גבוהים.

הסיבה לתפרוסת דומה של אזורי רעש ושל אזורי געש על פני כדור הארץ:

עיון במפות הגעשות שבאטלסים השונים יראה לנו שמרבית האזורים המועדים לרעידות אדמה, או עתירי הרי געש, מצויים בשולי הלוחות הטקטוניים ובגבולות שבין הלוחות ("קווי התפר"). הסיבה לכך היא שאזורים אלו אינם יציבים, והם נמצאים בתזוזה מתמדת הנגרמת על ידי הכוחות והלחצים הפנימיים

הנוצרים בעטיים של "זרמי הערבול" שבמעטפת. תזוזת הלוחות הטקטוניים, התקרבותם זה לזה או התרחקותם יוצרות לחץ, מתח ואזורי חולשה בקרום שדרכם פורצת המגמה. ההתנגשות בין הלוחות יוצרת את תהליך הקימוט ואת שרשראות ההרים, תהליך המלווה בחיכוך רב ובטמפרטורות גבוהות המתיכות את החומר ויוצרות הרי געש ורעידות אדמה. גם תנועות החלקה בין לוחות יוצרת חיכוך רב, ואף שבירה וסידוק של הקרום, הגורמים לרעידות אדמה ולהתפרצויות וולקניות. קיימים גם הרי געש שאינם בנקודת מפגש בין לוחות, והכוונה לאזורים שבהם קיימות "נקודות חמות" במעטפת (ראו הסברים בסוף עמוד זה).

"טבעת האש"

אחד האזורים בעולם העתיר ברעידות אדמה ובהרי געש הוא האזור שבשולי הלוח הפסיפי (לוח האוקיינוס השקט). אזור זה מכונה בשם "טבעת האש" והמהווה למעשה את קו הגבול בין לוח זה לבין הלוחות הצמודים אליו. (ראו במפה הגיאולוגית את האזורים הגעשיים הרבים שבשולי האוקיינוס השקט).

דוגמא לאזורים בעולם שבהם יש שכיחות גבוהה של רעידות אדמה ושל הרי געש:

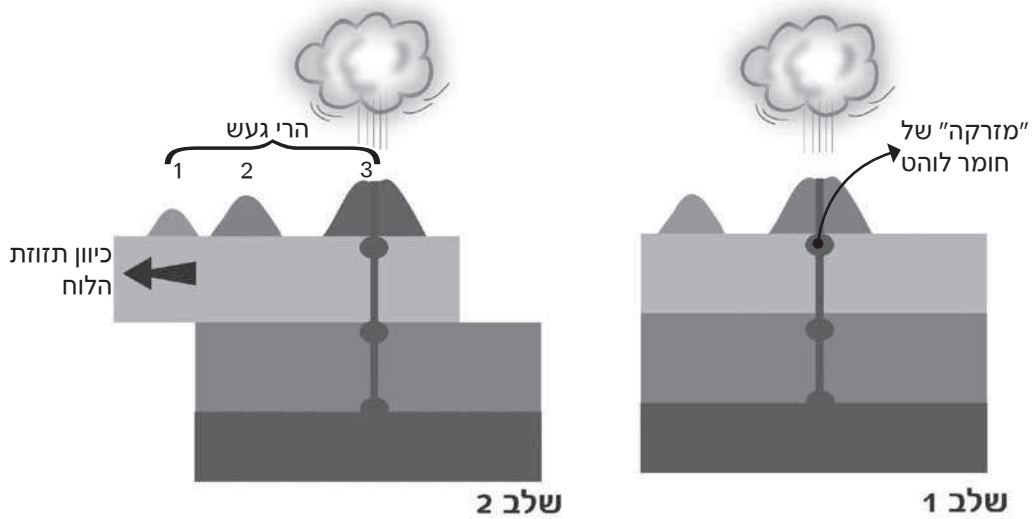
- **יפן, אינדונזיה, איי הפיליפינים, ניו זילנד, מערב אמריקה הצפונית ומערב אמריקה הדרומית** – אזורים אלה נמצאים על "טבעת האש" בגבול שבין הלוח הפסיפי לבין לוחות הסמוכים לו.
- **דרום אירופה, צפון-מערב אפריקה, טורקיה, איראן, צפון הודו ואזור הרי ההימלאיה** – אזורים אלה נמצאים על קווי הגבול שבין שני לוחות או יותר ובהם נוצר הקימוט האלפניני, שבו רכסי הרים גבוהים, הממשיכים עדיין לעלות, ולכן הם אזורים לא יציבים מבחינה סיסמית.
- **איסלנד, האיים האזוריים** – אזורים עתירי הרי געש כיוון שהם רכסים מרכזי אוקיאניים שעלו מעל פני הים.
- **השבר הסורי אפריקאי, שבר סן אנדריאס (קליפורניה)** – באזורים אלה נפוצים רעידות אדמה והרי געש כיוון שהם מצויים באזורי החלקה ובשברי החלקה אופקיים.

"נקודה חמה"

- **איי הוואי** שבאוקיינוס השקט – באזור זה קיימים הרי געש רבים שנוצרו מסיבה שונה, אך בעלת זיקה לתזוזת הלוחות. איי הוואי אינם נמצאים על גבול בין לוחות אלא במרכז הלוח הפסיפי. הרי הגעש שנוצרו כאן יצרו למעשה את שרשרת האיים המרכיבים את הוואי כתוצאה מתופעה הנקראת:

"נקודה חמה" (Hot spot). זהו אזור שבו מתפרץ מן המעטפת חומר חם (מעין "מזרקה" קבועה של מגמה) המגיע אל שכבת הליתוספירה של הקרום. התפרצות הלבנה מן הנקודה החמה יוצרת אי געשי. עם תזוזתו של הלוח הנמצא מעל הנקודה החמה, נוצר עוד אי געשי וכך הלאה. הלוח נע מעל הנקודה החמה ונוצרת שרשרת של הרי געש ואיים. התפתחות שרשרת האיים נוצרת כתוצאה מתזוזת הלוח האוקיאני על גבי ה"נקודה החמה". (ראו שרטוט)

"נקודה חמה"



3. תהליכי קימוט ושבירה

תהליך הקימוט הוא תהליך היוצר הרים על ידי דחיסה ועיוות השכבות, מבלי לשבור את הרצף שלהן. **תהליך השבירה** גורם לשבירת השכבות ולקטיעת הרצף שביניהן. תהליכים אלה נוצרים כתוצאה מלחצים אדירים, הנובעים מתוך כדור הארץ, הפועלים על שכבות סלעי הקרום ומהווים חלק מהגורמים המשפיעים על היווצרות הנוף שעל פני כדור הארץ ולשינויים במבנה שכבות הסלע המרכיבות את הקרום. **קיימת זיקה ברורה בין תזוזת הלוחות הטקטוניים, הגעשות ורעידות אדמה, לבין הקימוט והשבירה** – ככל שהאזורים קרובים לגבולות שבין הלוחות הטקטוניים, עוצמת תהליכי הקימוט והשבירה גוברת. **צורות הנוף הנצפות על פני השטח הן: רכסי הרים גבוהים, עמקים, רמות, מישורים, נהרות, אגמים ועוד.**

תנועת הלוחות מפעילה לחצים על שכבות הסלע, המונחות זו על זו, ומשנה את צורתן. השכבות מגיבות להפעלת הכוח עליהן והן **מתקמטות, מתעוותות או נשברות**, ואז מחליקות בתנועה מנוגדת לאורך סדקים ושברים.

כל אחת מהתגובות הללו תלויה **בעוצמת הלחץ** או הכוח המופעל על שכבות הסלעים, **בסוגי הסלע** (רך, גמיש, כמו חרסית או חוואר, או קשה כמו גיר קשה, דולומיט, גרניט, בזלת), **במשך הזמן שבו מופעל הלחץ** (מהיר, איטי) **ובטמפרטורת הסלע.**

במבני קימוט – עצמת הלחץ חלשה, הקצב בו מופעל הלחץ איטי, סוג הסלע רך וגמיש וטמפרטורת הסלע גבוהה.

במבני שבירה – עצמת הלחץ והכוח חזקה מאוד, קצב פעולת הלחץ מהיר, סוג הסלע קשה ולא גמיש וטמפרטורת הסלע נמוכה.

שכבות הסלעים נוצרות במקורן בטבע **בצורה אופקית** (כתוצאה משקיעת חומר סחף בים או ביבשה או מהתפרצות מגמתית). אחרי התמצקות והתלכדות שכבות הסלעים, פועלים עליהם כוחות פנימיים שונים והן עשויות להתקמט, להיסדק ולהישבר ואף להתחכך זו בזו. **שלושה כוחות פועלים על השכבות האופקיות המקוריות:**