



## שינויים במפלס הים-מדוע הם מדאיגים?

Martin J. Siegert\*

מכון Grantham והמחלקה למדעי והנדסת כדור הארץ, אימפריאל קולג' לונדון, לונדון, בריטניה

### סוקרים צעירים

INTERNATIONAL  
SCHOOL OF  
LAUSANNE



גיל: 11-12

כ-250 מיליון איש ברחבי העולם חיים ליד חופים, בגובה של פחות מחמישה מטרים מעל פני הים. שינויים במפלס הים משפיעים על חייהם. כאשר פני הים גבוהים מפני הנהרות והנחלים, מימיהם אינם יכולים לזרום אליו ומציפים את היבשה. בזמן סופות מי הים מציפים את אזורי החוף, ואם הם חודרים לשדות חקלאיים ולמאגרי מים, מליחותם עלולה לפגוע במי השתייה ובגידול היבולים. לכן חשוב לחוקרים להבין כיצד מפלס הים משתנה ומדוע.

האזינו לפודקאסט על המאמר: [קישור לפודקאסט](#)

### עד כמה השתנה מפלס הים?

כבר יותר מ-150 שנה מודדים את גובה פני הים בגאות ובשפל בנמלים רבים בעולם. ממדידות אלה אפשר ללמוד כיצד השתנה מפלס הים ברחבי כדור הארץ. כפי שתוכלו לראות ב [איור 1](#), המדידות הראשונות היו פשוטות מאוד ולא מדויקות. אבל עם הזמן השתפרה רמת הדיוק, ובעשורים האחרונים נעזרים בלוויינים כדי למדוד במדויק את גובה פני הימים בעולם [\[1, 2\]](#). על פי הנתונים, מ-1850 ועד תחילת שנות האלפיים עלה מפלס הים בעולם בכ-20 ס"מ. גם מהירות עליית המפלס הלכה וגברה בזמן הזמן הזה – משנת 2000 פני הים עולים בקצב של קצת יותר מ-3 מ"מ לשנה [\[3\]](#).

## איור 1

שינויים במפלס פני הים בעולם משנת 1850 [1, 2]. הציר האנכי (y) מראה את השינוי במפלס הים בסנטימטרים, והציר האופקי (x) – את השנים. המדידות הראשונות נעשו בשיטות פשוטות ולא מדויקות, אבל בכל זאת אפשר להבחין במגמה של עלייה במפלס פני הים בקצב של כ-0.8 מ"מ לשנה. עד 1950 נעשו שיטות המדידה מדויקות הרבה יותר, והתוצאות (בקו כחול) הראו כי הקצב עלה לכשני מ"מ לשנה. בעשורים האחרונים תיעדו לוויינים את מפלס הים (קו שחור) בדיוק רב. לפי מדידות אלה, הים עולה כיום בקצב של קצת יותר משלושה מ"מ לשנה.

### התחממות גלובלית (Global warming)

האקלים בכדור הארץ משתנה מאז ומעולם. אבל ההתחממות המתרחשת מאז 1850 היא תוצאה של פליטת גזי חממה לאטמוספירה עקב שרפה של פחם, נפט וגז טבעי. העולם היום חם ביותר מבעלה אחת משהיה ב-1850, ומפלס הים עלה מאז 20-3 ס"מ.

### יריעת קרח (Ice sheet)

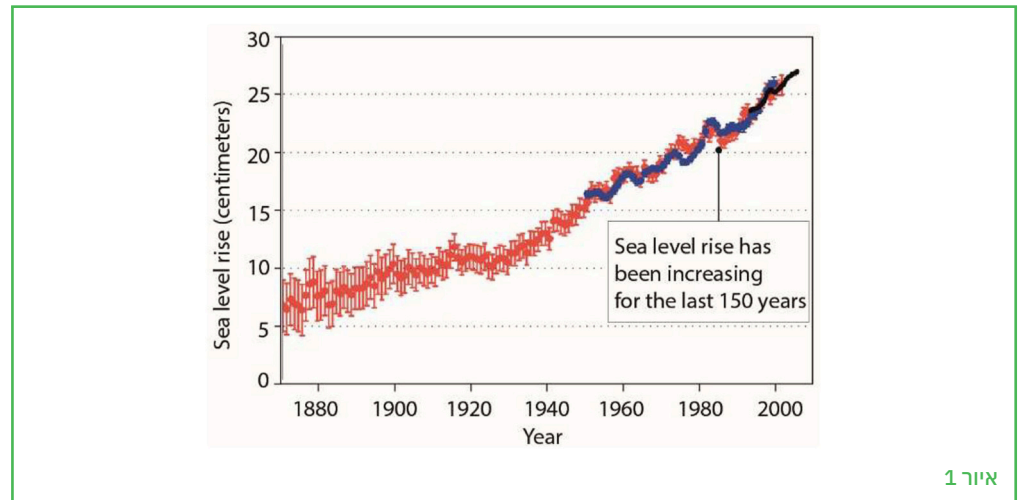
מסה גדולה של קרח הנעה באיטיות רבה על פני גבעות ועמקים ומכסה שטח גדול של יבשת. כיום יש בעולם רק שלוש יריעות קרח גדולות – בגרינלנד, במערב אנטארקטיקה ובמזרח אנטארקטיקה.

### קרחוני יבשה (Glacier)

גוש קרח קטן יחסית הנמצא בדרך כלל בתוך עמק. יש בעולם כ-200,000 קרחוני יבשה.

### מדף קרח (Ice shelf)

החלק הצף של יריעת הקרח הוא יכול להיות בעובי של כמה מאות מטרים. מדף קרח נוצר כאשר קרח זורם מיריעת הקרח אל תוך האוקיינוס. הוא מאבד קרח כאשר קרחונים מתנתקים מקצהו, וכאשר הוא מפשיר בצידו התחתון.



איור 1

## מדוע מפלס הים משתנה?

ארבעה גורמים עיקריים לעלייה במפלס הים: 1. התחממות מי האוקיינוסים בגלל ההתחממות הגלובלית – כשהמים מתחממים, אפילו בפחות ממעלה אחת, הנפח שלהם גדל והמפלס עולה (התופעה נקראת גם "התפשטות תרמית"); 2. הפשרת יריעת קרח בגרינלנד ובאנטארקטיקה; 3. הפשרת קרחוני יבשה קטנים ברחבי העולם; 4. התמעטות המים הנאגרים על פני היבשה ובמי התהום. השינוי בגובה פני הים נובע מהתחממות האוקיינוסים ומהפשרה של אלפי קרחוני יבשה קטנים. הפשרתן של יריעות הקרח באנטארקטיקה ובגרינלנד תרמה מעט יחסית לעליית מפלס הים מאז המאה ה-19. אבל כיום גם הן מפשירות בקצב מהיר מבעבר בגלל ההתחממות הגלובלית, וייתכן שהפשרתן תעלה מאוד את מפלס הים בעתיד.

## כמה מפלס הים יכול עוד לעלות?

בגלל ההתחממות הגלובלית ימשיכו מי האוקיינוסים להתחמם וקרחוני היבשה להפשיר ויתרמו עוד לעליית מפלס הים [3]. אילו היו מפשירים כל קרחוני היבשה הקטנים שבעולם, היו פני הים עולים בכ-50 ס"מ. עד כמה תתרום ההתפשטות התרמית לעליית פני הים בעתיד? תלוי במידת ההתחממות של המים. לעליית מפלס הים בעתיד תתרום כנראה יותר מכול ההפשרה של יריעות הקרח הגדולות בעולם: בגרינלנד, במערב אנטארקטיקה ובמזרח אנטארקטיקה. אילו הייתה יריעת הקרח שבגרינלנד מפשירה לגמרי, היה מפלס האוקיינוסים עולה בכשבעה מטרים; הפשרה גם של יריעת הקרח שבמערב אנטארקטיקה הייתה מעלה את המפלס בעוד חמישה מטרים, והפשרת יריעת הקרח שבמזרח אנטארקטיקה – בעוד 53 מטרים! מסיבה זו רבים מהגלסילוגים (מדענים החוקרים קרח) מתמקדים בשינויים שההתחממות הגלובלית מחוללת באנטארקטיקה ובגרינלנד.

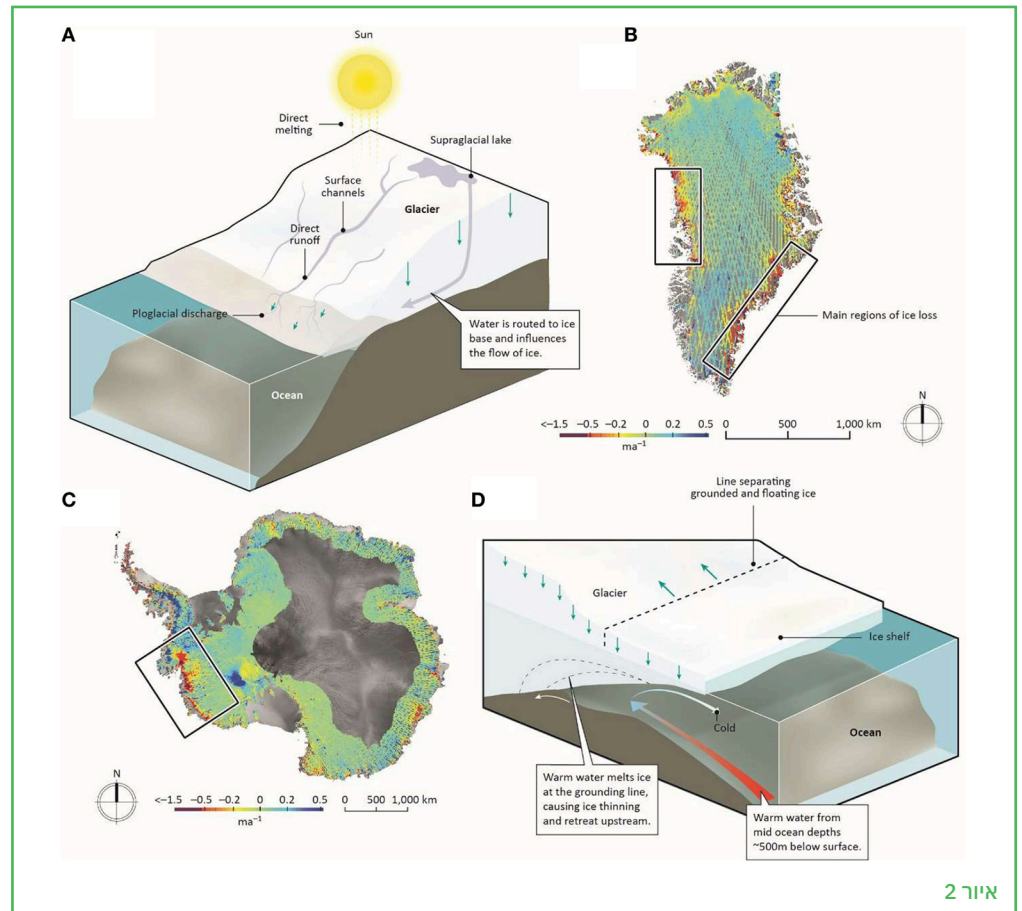
## איך הפשרה של יריעות הקרח מעלה את גובה פני הים?

ב איור 2 אפשר לראות כי שלוש יריעות הקרח – בגרינלנד, במערב אנטארקטיקה ובמזרח אנטארטיקה – שונות זו מזו, ולכן כל אחת מהן מגיבה אחרת להתחממות הגלובלית.

בגרינלנד עיקר הקרח מפשיר בגלל האוויר החמים: הקרח מתחמם, הופך למים ומי ההפשרה זורמים לאוקיינוס. במערב אנטארקטיקה יריעת הקרח מכסה אדמה השקועה במקומות מסוימים יותר משני ק"מ מתחת לפני הים, ולכן היא נקראת "יריעת קרח ימית". מכיוון ששולי יריעת הקרח נוגעים במי האוקיינוס, מידת הפשרתה תלויה בטמפרטורה של המים. במזרח אנטארקטיקה רוב יריעת הקרח מכסה קרקע הגבוהה מפני הים. בשל הקור העז השתמרה יריעת הקרח שנים רבות – 14 מיליון שנה לפחות! יריעת הקרח הזו עצומה בגודלה, ואם יפשיר אפילו אחוז קטן ממנה, תיתכן עלייה ניכרת בגובה פני האוקיינוס בעולם כולו.

## איור 2

**A.** אובדן קרח בגרינלנד – הקרח מפשיר בשל האוויר חמים, ומי ההפשרה זורמים אל האוקיינוס; **B.** שינויים בגובה פני הקרח בגרינלנד לפי מדידות לוויין. שאיבדו כמויות גדולות של קרח מסומנים באדום, והאזורים הכמויות הגדולות ביותר מוקפים במסגרות; **C.** שינויים בגובה פני הקרח באנטארקטיקה לפי מדידות לוויין. האזורים שאיבדו קרח מסומנים באדום, והאזור שאיבד כמויות גדולות ביותר של קרח מוקף במסגרת; **D.** אובדן קרח באנטארקטיקה – יריעת הקרח ומדפי הקרח הצפים מפשירים בגלל המגע במי האוקיינוס. באנטארקטיקה מי האוקיינוס החמימים זורמים מתחת למדף הקרח הצף, והוא מפשיר בצידו התחתון. בעקבות הפשרתו גם יריעת הקרח שעל הקרקע מאבדת קרח.



איור 2

בכל שלוש היריעות הקרח זורם באיטיות מן המרכז לכיוון הקצוות. בקצוות הקרח מפשיר או נשבר לקרחונים וניתק מהיריעה. בד בבד שלג נערם על פני יריעת הקרח, נדחס ומחדש את הקרח שאבד. ההפרש בין כמות הקרח שהיריעה מאבדת לכמות השלג שהיריעה צוברת קובע עד כמה יעלה מפלס הים. גם שינויים במהירות זרימת הקרח, אם הזרימה מואצת או מואטת, יכולים להשפיע על כמות הקרח שמפשיר – ולכן גם על מפלס הים.

במערב אנטארקטיקה ובאזורים מסוימים במזרח אנטארקטיקה יריעות הקרח שעל היבשה מוקפות במדפי קרח צפים בעובי של מאות מטרים. מדפי קרח אלה תומכים ביריעת הקרח ושומרים שתישאר במקומה. הפשרה של מדפי הקרח לא תעלה ישירות את מפלס הים כי הם ממילא דוחים כמות מים שוות-ערך למשקלם. אבל אם יפשירו מדפי הקרח, תאבד יריעת

הקרח הצמודה אליהם את תמיכתה. הדבר עלול להאיץ את זרימת הקרח אל האוקיינוס, להגדיל את כמות הקרח שמפשיר מקצוות היריעה ולהעלות את מפלס הים.

### קרח ים (Sea ice)

שכבה דקה מאוד של קרח (1-2 מטר עובייה) אשר נוצרת כאשר מי הים קופאים וצפה על פניו. שכבה זו נוצרת בחודשי החורף הקרים ומפשירה כמעט לגמרי בחודשי קיץ. בעשורים האחרונים יש באזור הארקטי פחות ופחות קרח ים בקיץ; באזור אנטארקטיקה כמות קרח הים גם גדלה וגם מצטמצמת.

### עידן הקרח (Ice age)

לפני 20,000 שנה היה העולם קר בכמה מעלות מהיום. יריעות קרח השתרעו בצפון אמריקה, בסקנדינביה, בדרום אמריקה ובאזורים אחרים בכדור הארץ. יריעות אלה נוצרו ממי אוקיינוס שקפאו, ולכן היו פני האוקיינוס נמוכים ב-120 מטר משהם כיום.

אגב, אין לבלבל בין יריעות קרח ומדפי קרח ובין קרח ים – שכבת קרח דקה מאוד (מטר עד שני מטר עובייה) על פני האוקיינוס הקר בקטבים. באזור הקוטב הצפוני (הארקטי) קרח ים הולך ופוחת כבר כמה עשורים בגלל ההתחממות הגלובלית. כמו מדפי הקרח, קרח הים צף על פני המים ולכן אינו מעלה את המפלס כשהוא מפשיר. אבל הפשרתו היא עדות חשובה להתחממות האזור הארקטי.

## האם השתנה מפלס הים בעבר?

בעבר השתנה מפלס הים באופן טבעי, בעיקר בגלל היווצרות והפשרה של יריעות קרח גדולות בזמן עידן הקרח. בשיא עידן הקרח האחרון (לפני כ-20,000 שנה) היה מפלס הים נמוך בכ-120 מטר משהוא כיום. משהסתיים עידן הקרח, התחילה התחממות גלובלית ויריעות הקרח החלו להפשיר. ב-10,000 השנים שהתחמם כדור הארץ עלה מפלס הים ב-1.2 ס"מ לשנה ובהדרגה הפסיק לעלות. במהלך ההתחממות עלה לעיתים גובה פני הים בקצב מהיר מזה. למשל, לפני כ-14,000 שנה עלה הקצב לכשלושה ס"מ בשנה בגלל הפשרת יריעות קרח. בין שני עידני קרח הייתה גם תקופה שבה האקלים על פני כדור הארץ היה דומה לאקלים של היום. אז, לפני כ-120,000 שנה, היה מפלס הים גבוה מהמפלס הנוכחי בשישה מטרים לפחות, כנראה משום שחלקים מיריעות הקרח בגרינלנד ובמערב אנטארקטיקה היו קטנים מגודלם כיום [4].

העדויות הללו מהעבר מדאיגות. ראשית, הן מראות שמפלס הים יכול להשתנות במידה ניכרת בגלל התחממות גלובלית. שנית, אפשר ללמוד מהן שקצב עליית פני הים כיום עלול גם הוא להאיץ בעתיד.

## מה מצב יריעות הקרח היום?

בתחילת שנות התשעים החלו למדוד את מפלס האוקיינוס ואת גודל יריעות הקרח בעולם בעזרת לוויינים [2]. כך התגלה שיריעות הקרח הולכות ומאבדות מסה בדרכים שונות. בגרינלנד, בחצי הדרומי של יריעת הקרח, פני השטח מפשירים בגלל ההתחממות הגלובלית. כמה אזורים בשולי יריעת הקרח שבמזרח אנטארקטיקה מפשירים גם הם בגלל מי האוקיינוס החמימים, אבל עדיין לא בהיקף נרחב. השינויים הגדולים והמדאיגים ביותר התרחשו במערב אנטארקטיקה. בעשרים השנים האחרונות נסוגו הקצוות של כמה מהקרחונים עשרות קילומטרים בשל העלייה בטמפרטורת מי האוקיינוס באזור הזה. יש מדענים המאמינים שיריעת הקרח שבמערב אנטארקטיקה כבר החלה להתפרק [5].

באמצעות לוויינים אפשר גם לעקוב אחר ההתפרקות הפתאומית של מדפי הקרח באזורים שונים של אנטארקטיקה. כמה מדפי קרח התמוטטו במהירות רבה (בתוך ימים אחדים) במהלך עשרים השנים האחרונות, וכל קריסה הגבירה מייד את זרימת הקרח לאוקיינוס.

## האם ההתחממות הגלובלית עקב מעשי האדם היא הסיבה לשינויים ביריעות הקרח?

אין כמעט ספק שהשינויים בגרינלנד הם תוצאה של ההתחממות הגלובלית, ושטמפרטורות האוויר העולות מובילות להפשרת השלג והקרח. ההתחממות הגלובלית מובילה גם להתפשטות התרמית של האוקיינוס ולהפשרה של קרחוני יבשה קטנים. עם זאת, אין קשר חד-משמעי בין השינויים באנטארקטיקה לבני האדם ולמעשיהם. מי האוקיינוס המפשירים היום את הקרח באנטארקטיקה התחממו כנראה כבר לפני מאות שנים. אבל חום המים מתפשט באמצעות זרמי האוקיינוס, וייתכן שזרמים אלה השתנו לאחרונה בגלל שינויים בתנאים האטמוספריים – למשל כיוון הרוח. הדמיית מחשב הראתה שההתחממות הגלובלית הנובעת מפעילות האדם עלולה להוביל לשינוי זרמי האוקיינוס באזור חשוב במערב אנטארקטיקה בהמשך המאה [6]. בעקבות שינוי כזה יזרמו מים חמימים לאזור יריעת הקרח שבמערב אנטארקטיקה וחלקים גדולים ממנה עלולים להפשיר מהר יותר משהם מפשירים כיום.

קצב ההפשרה של מדפי הקרח בכמה אזורים באנטארקטיקה קשור גם הוא כנראה להתחממות הגלובלית המתרחשת בימינו. אם תימשך ההתחממות, מדפי הקרח בכל היבשת עלולים להפשיר. אז תהיה יריעת הקרח שבמערב אנטארקטיקה חשופה למי האוקיינוס החמימים. המדענים מודאגים מכך כי במקרה כזה תתחיל יריעת הקרח להפשיר גם כן.

## כיצד ישתנה מפלס הים בעתיד?

בגלל העלייה המתמדת בגובה פני הים במאות השנים האחרונות ובגלל ההתחממות הגלובלית המדענים די בטוחים שמפלס הים ימשיך לעלות גם בעשורים הקרובים. הרי הקרחונים ויריעות הקרח הולכים ומפשירים, וההתפשטות התרמית של מי האוקיינוס נמשכת.

ב-2013 התפרסם דו"ח בנוגע להתחממות הגלובלית מטעם ארגון בין-לאומי, ושמו "הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים" (IPCC). לפי הדו"ח, אם נמשיך לשרוף דלקי מאובנים כפי שאנו עושים היום, עד שנת 2100 יעלה מפלס הים ב-3.5 עד 36.8 ס"מ בגלל הפשרה של יריעות הקרח. אם נוסיף לכך גם את העלייה הצפויה מההתפשטות התרמית של מי האוקיינוס ומהפשרת קרחוני יבשה, נמצא שעד שנת 2100 מפלס הים עלול לעלות במטר שלם!

קצב עליית מפלס הים צפוי גם הוא להתגבר עד סוף המאה. הפאנל הסיק שאם לא יחול כל שינוי, יגבר הקצב ב-0.7 עד 1.6 ס"מ לשנה ויהיה דומה לקצב עליית פני הים בסוף עידן הקרח האחרון. גם אם נצליח להפחית את פליטות גזי החממה לאפס בעשורים הקרובים, עד שנת 2100 יעלו פני הים בארבעים ס"מ לפחות.

## איך תשפיע עליית פני הים על מדינות העולם?

הפשרת יריעות הקרח אינה מעלה את מפלס הים באופן אחיד בכל העולם [7]. לכן כשפני הים עולים, השפעתם על בני האדם תלויה באזור שהם חיים בו. בבריטניה, למשל, רגילים להתמודד עם התופעה מדי פעם בפעם, בייחוד כשסערות מתחוללות בזמן שהגאות גבוהה מהרגיל. אם התחזיות של הפאנל הבין-ממשלתי נכונות, עלינו להביא בחשבון שבזמני גאות מפלס הים עלול לעלות עוד יותר בעתיד. מכאן שהגאות בעשורים הבאים תהיה גבוהה יותר והרסנית יותר משהייתה עד כה.

באזורים חקלאיים ליד החוף עליית מפלס הים תוביל להצפות. במקרה כזה מי הים עלולים להמליח את האדמה ולפגוע בפוריות שלה. הם גם עלולים לחלחל למאגרים של מי תהום, שהם מקור חשוב למי שתייה ולהשקיית יבולים חקלאיים.

בערי חוף תגרום העלייה בגובה פני הים להצפות תכופות של בתי מגורים ושל בתי עסק. אומנם נראה הגיוני להרחיק את היישובים מאזורים המועדים להצפות, במיוחד אם אנחנו צופים אותן מראש; אבל הקמת יישוב חדש היא יקרה כל כך, שסביר יותר שננסה להגן על היישובים הקיימים. ייתכן שנצטרך לבנות לאורך החוף חומות בגובה כמה מטרים, כי הרחובות יהיו נמוכים יותר מפני הים ההולכים ועולים.

## סיכום

את עליית פני הים ברחבי העולם החלו למדוד ב-1850. כעת פני האוקיינוסים גבוהים ב-20 ס"מ משהיו בתחילת המדידות. עלייה זו נובעת מהתחממות גלובלית עקב פליטות גזי חממה – גזים הנפלטות משַרְפַת פחם, נפט וגז טבעי. אבל השינוי בגובה פני הים מאז 1850 הוא קטן בהשוואה לשינויים שִקְרוּ בזמנים קדומים מזה. בעידן הקרח שלפני 20,000 שנה היה מפלס הים נמוך ב-120 מטרים משהוא כיום. מכך אפשר ללמוד כי מפלס הים יכול להשתנות במידה ניכרת, וכי התחממות גלובלית מובילה להפשרת קרח ועליית המפלס. המפלס ימשיך לעלות אם לא נצמצם את פליטות גזי החממה. עד סוף המאה פני הים עלולים לעלות אפילו במטר שלם. עלייה כזאת במפלס הים תציב בעיות חמורות בפני 250 מיליון בני האדם החיים קרוב לים. היא תשפיע על יכולתנו לגדל יבולים בשדות ליד החוף, תקשה על שמירת האיכות של מי השתייה ותשנה את אופי הערים שלנו ואת החיים שלנו בהן.

## מקורות

1. Church, J. A., and White, N. J. 2006. A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophys. Res. Lett.* 33:L01602. doi: 10.1029/2005GL024826
2. Church, J. A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., et al. 2013. Chapter 13: Sea level change. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M.

- Tignor, S. K. Allen, and J. Boschung, et al. Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA: Cambridge University Press. 1137–216.
3. Hay, C. C., Morrow, E., Kopp, R. E., and Mitrovica, J. X. 2015. Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature* 517:481–4. doi: 10.1038/nature14093
  4. Siegert, M. J. 2001. *Ice Sheets and Late Quaternary Environmental Change*. Chichester, UK: John Wiley. 231.
  5. Joughin, I., Smith, B. E., and Medley, B. 2014. Marine ice sheet collapse potentially under way for the Thwaites Glacier basin, West Antarctica. *Science* 344:735–8. doi: 10.1126/science.1249055
  6. Hellmer, H. H., Kauker, F., Timmermann, R., Determann, J., and Rae, J. 2012. Twenty-first-century warming of a large Antarctic ice-shelf cavity by a redirected coastal current. *Nature* 485:225–8. doi: 10.1038/nature11064
  7. The Ice2Sea Consortium. 2013. *From Ice to High Seas: Sea-Level Rise and European Coastlines*. Cambridge, United Kingdom.

פורסם אונליין: 31 בינואר 2019

נערך על ידי: Berend Smit

מנחים מדעיים: Christopher P. Ireland

ציטוט: Siegert MJ (2019) שינויים במפלס הים-מדוע הם מדאיגים? Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2017.00041-he

תורגם והותאם מ: Siegert MJ (2017) Why Should We Worry About Sea Level Change? Front. Young Minds 5:41. doi: 10.3389/frym.2017.00041

הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

זכויות יוצרים © 2017 © 2023 Siegert. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרים צעירים

### INTERNATIONAL SCHOOL OF LAUSANNE, גיל: 11–12

בית הספר הבינלאומי של לוזאן נוסד ב-1962. זהו ארגון ללא מטרת רווח השייך לרשת העולמית של תיכונים בינלאומיים (IB) ונמצא בלב אזור אגם לִמָּאן בשווייץ. אנחנו מקדמים בברכה תלמידים מגיל 3 עד 18, ומציעים מגוון תכניות ופעילויות שמטרתם לפתח את הפוטנציאל הייחודי של כל תלמיד. אנחנו



מקדמים מצוינות בכל הצורות והתחומים, ולכן מציעים מגוון מאוזן של הזדמנויות בתחומי הספורט, היצירה והאקדמיה.

## הכותבים

### MARTIN J. SIEGERT

במסגרת המחקר שלו עורך מרטין תצפיות בעזרת מכשירים על מטוסים, המאפשרים לו לראות "דרך" הקרח האנטארקטי את ההרים, עמקי הנהר והאגמים שהתגלו מתחתיו. הוא ביקר שלוש פעמים באנטארקטיקה, ומשתתף במספר פרויקטים עם עמיתיו בארה"ב, סין, אוסטרליה ועוד.

\*[m.siegert@imperial.ac.uk](mailto:m.siegert@imperial.ac.uk)



מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK